

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA,
METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA**

ESCUELA DE POST GRADO

**El Pórfido de Cu-Mo Sayta y su mineralización en
cuarcitas**

**TESIS para optar el grado de Magíster en Geología con Mención en
recursos mineros**

AUTOR:

Eugenio Castro Medrano

ASESORES:

María Lau L.

Pedro H. Tumialan

Lima – Perú

2012

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por darme vida y salud y permitirme que siga el camino de la investigación científica y aportar mis conocimientos y experiencia en la geología de exploraciones.

Agradezco profundamente al Ing. Mg. Enrique Guadalupe por su apoyo constante y los aportes a la tesis, también a mis asesores Dra María Lau L., Ing Ms Pedro H. Tumialan quienes dedicaron su tiempo para aportar sus conocimientos científicos y las respectivas correcciones a la presente tesis.

Doy gracias a mi querida reinita Jackeline por su apoyo constante en la redacción de la presente tesis y a todos los que una y otra forma me apoyaron a terminar la maestría.

RESUMEN.....	1
SUMARY.....	2
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....	4
I.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	7
I.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	9
I.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACION.....	9
I.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	10
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	11
II.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	11
II.2 BASES TEORICAS	16
II.3 MARCO CONCEPTUAL	33
CAPÍTULO III HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	39
III.1 HIPÓTESIS GENERAL.....	39
III.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICA	39
III.3 VARIABLES	39
III.4 DISEÑO Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	40
III.5 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	41
CAPÍTULO IV ANALISIS E INTERPRETACION DE LA INFORMACION.	
.....	44
IV.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....	44
IV,2 CLIMA Y VEGETACIÓN	45
IV.3 GEOMORFOLOGÍA Y RASGOS FISIOGRÁFICOS.....	46
IV.4 GEOLOGIA REGIONAL.....	48
IV.5 YACIMIENTOS VECINOS AL PÓRFIDO DE Cu-Mo SAYTA.....	55
CAPÍTULO V RASGOS GEOLÓGICOS DEL PÓRFIDO SAYTA	59
V.1 MARGO GEOLÓGICO.....	59
V.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	64

V.3	BRECHAS	72
CAPITULO VI INTERPRETATION DE DATOS GEOLÓGICOS.....		73
VI.2	INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS GEOQUÍMICOS.....	73
VI.3	INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS GEOFÍSICOS.....	75
VI.3	INTERPRETACIÓN DEL STRATER	76
VI.4	INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL	80
CAPÍTULO VII MINERALIZACIÓN PORFIRÍTICA Y VETILLAS DE Cu-Mo EN CUARCITAS		82
VII.1	GÉNESIS DE LAS CUARCITAS.....	82
VII.2	FORMACIÓN HUINTUYO.....	83
VII.3	MINERALIZACIÓN EN CUARCITAS.....	84
VII.4	ALTERACIÓN HIDROTHERMAL EN LAS CUARCITAS.....	87
CAPÍTULO VIII MINERALIZACIÓN Y ALTERACIÓN HIDROTHERMAL EN LA TRAQUIANDESITA		88
VIII.1	MINERALIZACIÓN EN LA TRAQUIANDESITA.	88
VIII.2	ALTERACIÓN HIDROTHERMAL DEL PÓRFIDO	90
CAPÍTULO IX ZONACION Y MINERALIZACIÓN DEL PÓRFIDO SAYTA		93
IX.1	ZONA DE ÓXIDOS	93
IX.2	ZONA SUPERGENA (Enriquecimiento secundario).....	94
IX.3	ZONA HIPÓGENA (Sulfuros primarios)	95
CAPITULO X DISCUSIÓN DE RESULTADOS		96
X.1	FUENTE DE MINERALIZACIÓN DEL PÓRFIDO SAYTA	96
X.2	GÉNESIS DEL YACIMIENTO SAYTA	98
X.3	MODELO GENÉTICO DEL YACIMIENTO	100
CAPÍTULO XI RELACIONES COMUNITARIAS		102

CAPÍTULO XII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	104
XII.1 CONCLUSIONES.....	104
XII.2 RECOMENDACIONES.....	107
 CAPÍTULO XIII ANEXOS	 108
XIII.1 TABLAS Y CÓDIGOS DE INTERPRETACIÓN.....	108
 CAPÍTULO XIV REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 122

RESUMEN

El Pórfido de Cobre Molibdeno Sayta está ubicado dentro del complejo Batolito Andahuaylas Yauri que intruye a las areniscas y cuarcitas de la Formación Huintuyo permitiendo la depositación de minerales con contenidos metálicos de importancia como cobre, molibdeno, oro y otros.

Durante la investigación del pórfido de Cu-Mo Sayta, se ha reconocido varias fases de intrusión magmática, siendo las fases tempranas las que conforman los sulfuros primarios con leyes relativamente altas, mientras que las fases posteriores son estériles o presentan leyes bajas.

El rasgo característico importante para la identificación de este pórfido ha sido básicamente la alteración mineral en superficie, (zona de óxidos) reconocidas durante el muestreo geoquímico y las fotografías aéreas como herramientas que han ayudado a comprender la forma del depósito.

El trabajo de investigación describe la génesis del yacimiento y su emplazamiento en las arenisca y cuarcitas, sus implicancias geológicas y su relación con los demás pórfidos existentes en el Batolito Yauri-Andahuaylas.

Las cuarcitas de la formación Huintuyo, no presentan permeabilidad ni porosidad primaria salvo las areniscas, por lo que se atribuye la presencia del mineral al relleno en micro-fracturas producidas por efectos tectónicos, sin embargo la presencia de niveles arcillosos y lutáceos permitió de entrappe de mineral durante la migración de las soluciones mineralizantes, razón por lo que, se asume que la mineralización de cobre, se ha depositado debajo de estos niveles y algunos tramos con óxidos de cobre, prácticamente han migrado aprovechando fallas y fracturas.

De acuerdo a los resultados de la investigación realizada se conoce que el emplazamiento del pórfido Cu-Mo Sayta enriquecido en cuarcitas, es una evidencia de los nuevos criterios de exploración en cuarcitas asociados al Batolito Yauri Andahuaylas. También hay depósitos de pórfidos de cobre molibdeno reconocido en Cotabambas, Tintaya, Los Chancas, Morasayhuas, Antilla, Yanque, Sayta y otros que confirman el potencial del Batolito Andahuaylas-Yauri convirtiéndolo en un metalotecto de importancia.

SUMMARY

The Copper Molybdenum Porphyry Sayta is emplaced within the complex Andahuaylas Yauri Batholith, intrudes the sandstone and quartzite of Huintuyo Formation allowing the deposition of metallic mineral content of economic importance as copper, molybdenum, gold et al.

During the investigation of Cu-Mo porphyry Sayta has been recognized several phases of magmatic intrusion, in the early stages of primary sulphide comprising relatively high grade, while in later phases are sterile or have low grade.

The important feature of this identification has been mostly porphyry alteration mineral surface (oxide zone) recognized during the geochemical sampling and aerial photographs as tools that have helped to understand how the deposit. The research paper describes the genesis of the deposit and its location in the quartzite, its geological implications and their relationship with others existing in the Batholith porphyries Yauri-Andahuaylas.

The quartzite Murco formation, have no porosity or permeability which is attributed to the presence of mineral fillers in micro-fractures caused by tectonic effects, however the presence of clay and siltstone permitted levels of mineral trapping during migration mineralizing solutions, and

therefore it is assumed that the copper mineralization has been placed below these levels and some sections with copper oxides, have almost migrated advantage faults and fractures.

According to the results of research carried out is known that the location of porphyry Cu-Mo enriched sandstone and quartzite Sayta is evidence of new exploration criteria associated Andahuaylas Yauri Batholith.

According to fieldwork and previous studies by different companies confirm that the Andahuaylas-Yauri batholith is emplaced during the middle Eocene to early Oligocene (~ 48 -32 Ma, with a surface area of ~ 130 km $300 \times$ placed on clastic rocks and carbonate (Example: Murco Group, Yura Group, Ferrobamba Formation) whose age spans the Jurassic to Cretaceous.

It is also known that all porphyry Cu-Mo-Au are generated from calcic alkaline and alkaline magmas (R. Sillitoe 2009, SEG), therefore Sayta porphyry is located in the batholith Yauri - Andahuaylas, in 2nd and 3rd phase of its evolution or magmatic pulse events belonging to the Inca orogenic.

In relation to the evolution of sedimentary basins, magmatic pulsations and tectonic events in orogenic cycle, describe metal deposits and polemics its genesis.

The discussion is primarily genetic in field research, data collected from studies of fluid inclusions and radiometric dates for defining the mineralized trachi-andesite porphyry deposit associated with the quartzite of the Lower Cretaceous Mesozoic, origin, composition and temperature mineralizing fluids. Porphyry copper molybdenum deposits recognized in Cotabambas, Tintaya, Chancas, Morasayhuas, Antilla, Yanque, Sayta and others confirm the potential of Andahuaylas-Yauri Batholith.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El Perú por su ubicación y contexto geológico de importancia, alberga muchos yacimientos metálicos, algunos de clase mundial, cuyo aprovechamiento y explotación, históricamente tiene gran influencia en la economía y el desarrollo del Perú y que aún continúa.

La explotación de estos recursos minerales como: oro, plata, plomo, zinc y estaño, genera entre el 60% y 61% del total de los ingresos en la economía del PERU y lo ubica entre los 6 principales países exportadores de minerales en el mundo.

No se tiene a disposición datos exactos, pero se estima que de cada cien proyectos de exploración uno resulta económico y llega al estado del desarrollo minero.

El costo promedio para el descubrimiento significativo de un yacimiento mineral, es aproximadamente de \$35 millones USD, se puede anticipar que esta cifra seguirá aumentando en el futuro hasta \$110 millones USD, ya que el éxito en exploración (totalidad de gastos en exploración por año/número de descubrimientos significativos) depende de nuevas tecnologías y un intenso programa de exploración. (SNMPE 2010).

El éxito del descubrimiento de un yacimiento mineral depende básicamente de la inversión de capital y el recurso humano técnicamente muy bien preparado, además de considerar métodos modernos en la investigación y descubrimiento del yacimiento.

La distribución de depósitos metálicos en cualquier país, está en función de su contexto geológico. En el Perú está relacionado directamente con la evolución geológica de la Cordillera de los Andes, es decir, con la

evolución de las cuencas sedimentarias, las pulsaciones magmáticas, la subducción de las placas tectónicas y el desarrollo de nuevas zonas con mineralización.

Cada día se vuelve más difícil y costoso descubrir un depósito metálico significativo. Por lo tanto, es de mucha importancia que se realicen estudios metalogénicos y otras técnicas modernas propias de la exploración que permitan delinear ambientes geológicos favorables para albergar depósitos metálicos.

Con la ayuda de esta información, los exploradores pueden planificar sus programas de exploración más eficientes, lo cual resulta finalmente importante la reducción del costo para lograr un descubrimiento de un depósito económico de clase mundial.

Para realizar la presente tesis se han hecho los planteamientos del problema de investigación y trazado los objetivos para determinar la fuente de mineralización del pórfido en Sayta y su implicancia en las cuarcitas de la Formación Soraya; diseñar los modelos o patrones que nos ayuden a entender la mineralización en las cuarcitas, finalmente conocer la influencia de las alteraciones en la mineralización de las cuarcitas.

Las cuarcitas de la Formación Huintuyo, no presentan una permeabilidad ni porosidad primaria debido principalmente a su alto grado de compacidad, por lo que la investigación está orientada a, conocer de cerca los factores tectónicos que han influido en el craquelamiento y formación de micro vetillas generándose permeabilidad secundaria que han servido como roca hospedante para la depositación de los sulfuros.

De igual forma la presencia de niveles arcillosos y pizarrosos dentro de las cuarcitas se comportaron como trampa de mineral durante la migración de los sulfuros, razón por lo que se asume que, la mineralización de cobre se ha depositado debajo de estos niveles pizarrosos.

En superficie los tramos con óxidos de cobre se han formado como consecuencia de la precipitación de aguas meteóricas que han migrado hacia niveles más profundos aprovechando fallas y fracturas.

La compacidad de la cuarcita ofrece alta tenacidad e intenso fracturamiento, esto se debe a eventos tectónicos pre mineral, lo que ha facilitado la migración de los sulfuros de cobre y molibdeno; evidenciado en el logueo, donde se aprecia micro vetillas de calcopirita y calcosina en cuarcitas.

El enriquecimiento secundario ocurrido en las cuarcitas que albergan buena ley de mineral prácticamente tiene potencias variables dependiendo de los niveles de lutitas pizarrosas en el paquete sedimentario de la Formación Huintuyo.

El pórfido Sayta abarca un área de 800m de largo x 700m de ancho en donde la zonación de la mineralización tanto lateral como vertical se puede reconocer y diseñar el modelo para su explotación a cielo abierto.

Las anomalías de color; identificadas durante la primera etapa de exploración han definido grandes áreas de cobre exótico (óxidos de cobre) que se ubican en la parte superior, y en las escarpas del cerro Sayta en forma de pátinas tanto en las cuarcitas como en el pórfido Traquítico.

Se han identificado los diferentes tipos de alteración hidrotermal como: la alteración potásica, fílica, argílica, silicificación y alteración propilítica corresponden a un yacimiento de tipo pórfido de Cu-Mo.

“Los resultados del muestreo geoquímico de suelos y rocas; han confirmado la presencia recursos minerales de cobre que ameritan una exploración que incluye perforación diamantina intensa y con buenas posibilidades de convertirse en mina”. (E. Castro 2008)

El Proyecto desde el punto de vista de la rentabilidad económica cuenta con recursos hídricos suficientes que pueden ser represados como el río Livitaca, o el

afluente río Chelleca, en tanto que los recursos energéticos son muy favorables en la zona ya que el abastecimiento normal de la Central Hidroeléctrica del Mantaro justifica la puesta en marcha, de igual forma los accesos hasta el proyecto requieren ampliación para una comunicación fácil hacia el Cusco.

En cuanto a los recursos humanos la zona de influencia directa del proyecto se enmarca en los pueblos de Livitaca, Chelleca, el distrito de Omacha 6,453 hab, Livitaca 11,516 habitantes (Según INEI 2007). Esto significa que el recurso humano facilitará la ejecución del proyecto.

I.1.- SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Los pórfidos de cobre en el mundo forman parte de un amplio grupo de depósitos minerales con sus características particulares, siendo esta la razón de nuestra investigación. La presente tesis de investigación tiene como objetivo saber por qué se observa alta ley de minerales de cobre en las areniscas y cuarcitas de la formación huintuyo.

La forma de emplazamiento y el contexto geológico del Pórfido Sayta ubicado dentro del complejo del Batolito de Yauri Andahuaylas nos permite definir esta formación como un metalotecto de importancia que alberga no sólo al cobre, también a otros minerales metálicos como el oro, fierro, plata, zinc y otros.

Los pórfidos se forman casi siempre en centros intrusivos, o en zonas de colisión de placas de diferente composición mineral desde magmas félsicos o alcalinos hasta magmas calco-alcalinos intermedios; estos centros intrusivos se emplazan normalmente ocupando áreas que van desde 100m hasta unos pocos km de diámetro.

Dentro del pórfido de Cu-Mo Sayta se ha reconocido varias fases de intrusión, siendo las fases tempranas las que conforman los sulfuros primarios con leyes relativamente altas, mientras que las fases posteriores son las que presentan leyes bajas o son estériles.

La geología de los depósitos de cobre emplazado en el batolito Yauri-Andahuaylas, durante la última década, ha generado mucho interés en los geólogos de exploración y en compañías mineras dedicadas a la explotación de cobre, lo que ha traído como consecuencia la identificación de diferentes zonas en el batolito con importantes leyes de minerales de Cu, Mo, Au, Ag.

El rasgo característico importante para la identificación de este pórfido ha sido básicamente la alteración supérgena del mineral en superficie, y las anomalías geoquímicas durante el muestreo prospectivo con la consiguiente identificación de minerales guía que han ayudado a comprender la forma del depósito.

Es necesario resolver la problemática sobre la génesis del yacimiento y su emplazamiento en las areniscas y cuarcitas de la formación huintuyo, sus implicancias geológicas y su relación con los demás pórfidos existentes en el Batolito Yauri-Andahuaylas y el significado que debe implicar para las futuras exploraciones mineras, relacionados a este complejo.

No debemos perder de vista que la formación huintuyo (miembro inferior del Grupo Murco) de edad Cretáceo Inferior en el sur del país (asignado por Mendivil 1994 Bol. 52 INGEMMET en el cuadrángulo de Livitaca), representa un metalotecto de gran importancia y se correlaciona al norte del Perú, con la formación Chimú (metalotecto de oro y plata) ejem: Alto Chicama, Tres cruces, La Virgen, El Toro y otros, mientras que en la zona de selva se correlaciona con la Fm Oriente (Saposo).

Se debe interpretar los rasgos y características geológicas que han determinado el emplazamiento y mineralización de cobre en el Proyecto Sayta como un evento magmático de mucha importancia que genera expectativas para un yacimiento de clase mundial en los próximos años.

El entendimiento de las características geológicas del pórfido Sayta requiere de un análisis profundo en la investigación de pórfidos del mundo, correlacionar con otros eventos en el cinturón de fuego circum pacífico que nos permita definir depósitos de clase mundial.

I.2.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El problema del pórfido mineralizado de cobre-molibdeno en el Proyecto Sayta no es bien conocido, sin embargo actualmente es fuente de investigación ya que los rasgos geológicos, geoquímicos y geofísicos ameritan un buen estudio.

Por lo que es necesario plantear los siguientes problemas a investigar:

Problema principal.- ¿Cuál es la génesis de mineralización del pórfido Sayta y como se emplazó la mineralización en las traquiandesitas y las cuarcitas de la formación Huintuyo?

Problema secundario 1.- ¿Cuáles son las características geológicas del pórfido Cu Mo Sayta?

Problema secundario 2.- ¿Cuál es la fuente de mineralización del pórfido Sayta?

Problema secundario 3.- ¿Cómo se emplazó la mineralización en las traquiandesitas y principalmente en las areniscas y cuarcitas de la formación Huintuyo?

Con estas preguntas decidí investigar y aplicar, los conocimientos teóricos y prácticos de los diferentes pórfidos del mundo, que ayudaron al esclarecimiento de este trabajo de investigación, de igual forma los datos de campo, fotografías que acompañan la presente tesis sirven de ayuda para su entendimiento.

I.3.- JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Es muy importante señalar que los aportes que se mencionan en esta tesis corresponden básicamente a mejorar las relaciones implícitas en cuanto a la ciencia, tecnología y la sociedad; por lo que se tiene en cuenta la importancia que se justifica por los siguientes aspectos:

I.3.1. En cuanto a la ciencia.- Muchos depósitos porfiríticos se emplazan en rocas volcánicas; sin embargo, el depósito Sayta puede ser un tema interesante

y nuevo que requiere mucha atención e investigación, ya que al cortar secuencias sedimentarias de cuarcitas y areniscas da nuevas pautas para la exploración y futura explotación mineral.

I.3.2. En cuanto a la técnica.- Muchos investigadores han utilizado parámetros de reconocimiento para los pórfidos, utilizando alteración y asociaciones metalogénicas, este proyecto aporta algunas técnicas de reconocimiento de pórfidos asociados a cuarcitas, tales como identificación de texturas (flash point, hair line, flooding, crowded, cockscomb), fotos que relieves los minerales mediante el uso de lupa y cámara al mismo tiempo, formatos especiales de logueo, uso del strater para correlación e interpretación visual de la litología, estructura, alteración y mineralización y otros.

I.3.3. En cuanto a la sociedad.- El pórfido Sayta se ubica en zonas con débil desarrollo socio económico, la influencia del proyecto ayudará en forma directa al crecimiento y desarrollo de los pueblos de Chellecca, Livitaca, Omacha emplazados en los alrededores de la zona de estudio y en forma indirecta a las provincias de Paruro y Chumbivilcas en el Cusco.

I.4.- OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo del presente tema de investigación hemos trazado los siguientes objetivos:

I.4.1.- Objetivo general.- determinar la génesis del pórfido sayta y conocer el comportamiento de la mineralización tanto en traquiandesitas y de manera especial en las cuarcitas y areniscas de la formación huintuyo.

I.4.2.- Objetivo específico 1.- Caracterizar el yacimiento de cobre y molibdeno Sayta.

I.4.3.- Objetivo específico 2.- Conocer la fuente de mineralización del pórfido sayta.

I.4.4 Objetivo específico 3.- Conocer el emplazamiento de la mineralización en las traquiandesitas y principalmente en las areniscas y cuarcitas de la formación huintuyo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

II.1.- ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

El área de estudio está localizada al borde norte de la Cordillera Occidental de los Andes sur peruanos, en la región de Cuzco en los distritos de Livitaca (provincia de Chumbivilcas) y Omacha (provincia de Paruro). Comprende un área aproximada de 2 km² de extensión. *(Ver plano geológico fig. n°10).*

Autor.- Bonhomme M. y Carlier G. 1990

Titulo.- “Relaciones entre magmatismo y mineralización en el Batolito Andahuaylas Yauri”.

Anunciaron el nombre del batolito Andahuaylas Yauri y siendo parte de nuestra investigación el pórfido de Cu-Mo Sayta el autor utiliza este nombre para el desarrollo de la presente tesis.

Conclusiones:

- Las porciones de afloramientos del batolito Andahuaylas-Yauri están constituidos por una variedad de intrusiones.
- Depósitos de pórfidos de cobre y skarn de Fe en la región están estrechamente conectados con el batolito Andahuaylas-Yauri, cuyo emplazamiento se correlaciona con la orogenia incaica.

Autor.- Perelló et al. (2003)

Titulo.- “Porphyry copper Metallongeniy of the middle eocene early oligocene arc of western south america”: el autor sostiene que el emplazamiento del batolito se llevó a cabo en 3 etapas.

Conclusiones:

- La fase inicial se caracteriza por magmas de tipo calco-alcálinas (gabro, gabro olivino, diorita) que cristalizó en el fondo de la cámara magmática con temperaturas superficiales hasta 1000 °C y una presión de 2-3 bar.
- En la siguiente etapa las rocas intermedias (Monzo-diorita, de cuarzo diorita, granodiorita y cuarzo monzodiorita) dominó el emplazamiento. Aquí predomina el color gris claro cuyos componentes minerales presentan grano grueso y texturas que parecen ser equi-granular a porfídica.
- Existen dos poblaciones de minerales con fenocristales en la matriz del pórfido. Por un lado biotita y anfíboles forman los fenocristales y ferro magnesianos más frecuentes y la plagioclasa (30% a 65% vol) con ojos de cuarzo subordinado y ortoclasa con ~ 10% vol. cada población de fenocristales importante (Perelló et al., 2003).
- La asociación genética de la mayor parte de la mineralización con una sola fase de la intrusión parece estar presente en la mayoría de los depósitos. Además existen yacimientos como Los Chancas y Lahuaní dos fases son reconocibles y en Antapaccay hasta seis fases han sido descritas (Jones et al., 2000).

Autor.- Eugenio Castro M. 2008

Título: "1er reporte geológico de la visita al proyecto Sayta".

Conclusiones:

- La distinción entre los componentes minerales de las intrusiones observadas en el Batolito Andahuaylas-Yauri es difícil porque muestran texturas, composiciones y productos de alteración similares.
- En tanto que cuanto más tarde la mineralización y más joven la fase de evolución magmática, las composiciones y las texturas de las rocas resultantes, los procesos de alteración se presentan más débiles.

- El Batolito Yauri-Andahuaylas es un metalotecto en donde varios prospectos y depósitos de pórfidos de Cu-Mo-Au se han descrito, pero pocos vienen siendo explotados. Sin embargo la exploración es muy intensa.

Autor.- Perelló J., Carlotto V., Zárate et al. 2003

Título.- "Porphyry copper style alteration and mineralization of the middle eocene to early oligocene Andahuaylas Yauri belt".

Conclusiones:

- La presencia de los pórfidos de cobre en el batolito muestran cuatro características geológicas diferentes y, los sistemas están controlados por las estructuras agrupado en un enjambre de diques, los pórfido de cobre aparecen en las fases finales del pulso magmático.
- Las rocas tipo diorita, gabro, granodiorita, conforman la mayoría del batolito y se puede reconocer en el campo fácilmente y en forma regular. En la fase terminal, está constituido por intrusiones subvolcánicas que consiste en tonalita hasta dacítica y rodean al batolito. K-Ar y señalan edad del Eoceno Medio a temprana edad Oligoceno (~ 48-32 Ma).
- Para las rocas máficas de la fase inicial estos autores confirman las edades entre los 48-43 Ma y para las rocas intermedias etapa 40-32 Ma.

Autor: (Carlier et col. 1996; Carlotto, 1998

Título: "Una nueva apreciación el Interior Arco Cenozoico magmatismo en el sur este del Perú".

Conclusiones:

- El modelo geodinámico para el emplazamiento del batolito confirma que la cuenca asociado a las estructuras principales, se reactivaron en fallas inversas de alto ángulo que favoreció el levantamiento del batolito Andahuaylas-Yauri entre los 40-32 Ma).

- Los intrusivos más básicos están relacionados con las mineralizaciones de Fe-Cu-Au, que se presentan a manera de cuerpos en el contacto con calizas; y vetas de Au-Cu en los intrusivos. Los depósitos más importantes son Tintaya, Katanga, Las Bambas, Cotabambas, Morosayhuas, Antapacay, Haquira, Los Chancas, Antillas, Trapiche y otros. Las edades de mineralización van de 42 a 30 Ma.(V. Carlotto, L. Cerpa, H. Acosta, R. Rodriguez, 2003)”
- El acortamiento de la corteza superior habría impedido el ascenso del magma rápido favoreciendo el almacenamiento de fluido en las cámaras de gran tamaño que, a la profundidad apropiada en la corteza superior, se han promovido a gran escala emplazamiento de cobre pórfido. Reconstrucciones geodinámicas del eoceno tardío al periodo oligoceno temprano de subducción plana en los andes centrales sugieren que el emplazamiento del batolito Andahuaylas-Yauri tuvo lugar en un corredor de inflexión en la zona de subducción en líneas generales coincide con la posición de la deflexión de Abancay actual.

Autor.- Petersen, U. 1999

Título: Magmatic and metallogenic evolution of the central andes.

Conclusiones:

- La diversidad metalogénica de la franja porfídica del batolito Andahuaylas Yauri evolucionó durante la década del 90, cuando la presencia de la alteración y la mineralización de pórfido fueron confirmadas por diferentes geólogos que visitaron la zona. Este descubrimiento dio lugar a la recuperación del potencial de los pórfidos de cobre como los depósitos en Antapaccay, Los Chancas y Cotabambas.
- La franja batolito Andahuaylas-Yauri se ha emplazado entre 50 y 30 Ma, en dos etapas, una principal con gabros y dioritas y otra menor con pórfidos, separadas en tiempo por el inicio de la deformación andina, en 43 Ma (Carlotto, 1998). Los intrusivos intermedios a ácidos han

generado la mineralización Cu-Mo (Au), mientras que en el contacto con calizas del Albiano - Turoniano forman cuerpos de skarn de Cu-Zn.

- Del eoceno medio al oligoceno inferior el cinturón de Andahuaylas-Yauri, situada en el sureste de Perú es una rápida aparición de la provincia de pórfidos de cobre con una importancia creciente. Mineralizaciones de cobre, oro y molibdeno se asocian a magmas calco-alcalina. El Batolito Andahuaylas-Yauri se emplaza cortando a los estratos clásticos y de carbonatos.

Autor: Stefani Weise

Título: El cinturón de Andahuaylas Yauri del sureste de Perú y su extensión a los pórfidos de cobre de Chile.

Conclusiones:

- Las características geológicas del cinturón Andahuaylas Yauri permiten afirmar que se trata de una provincia metalogénica con alto contenido de cobre molibdeno y oro. El batolito Andahuaylas Yauri está formado por magmas calco alcalinos que se emplazan sobre rocas carbonatadas y sedimentos clásticos del Cretáceo inferior. Se le asigna una edad entre el Eoceno medio a oligoceno (~32 – 48 ma).
- Autor: Jorge Oyarzún M.

Título: Andean Metallogensis, a Synoptical review and interpretation.

Conclusiones:

- Aunque la mayor parte de los depósitos de mineral de los Andes están relacionados con la actividad magmática y los magmas calco-alcalinos son dominantes, al menos en los depósitos más grandes del cinturón están relacionados con las interrupciones de corta duración en el régimen tectónico normal y en los mecanismos de generación de magma y el emplazamiento.

- Tanto los cambios en la frecuencia y el ángulo de convergencia de las placas tectónicas son factores clave para explicar este tipo de trastornos, aunque la estructura profunda de la placa litosférica continental parece también importante”.

II.2.- BASES TEÓRICAS

II.2.1.- Método geológico.- Es un método directo de prospección o exploración respectivamente (levantamiento geológico y estructural en el terreno) y la base para todos los demás métodos. Este método se constituye del levantamiento geológico y estructural de la superficie, de los afloramientos y como posible del subsuelo (sondeos, minas) en el área de interés.

Por medio del método geológico se logra el reconocimiento de un depósito mineral, en lo que concierne su estructura, su petrografía y mineralogía y los procesos de formación del mismo. (Thompson, J.F. 1993).

El muestreo sistemático de suelos residuales se utiliza para buscar anomalías situadas directamente encima del cuerpo mineralizado debido a su sencillez y a la ventaja, que la composición del suelo residual depende altamente del cuerpo mineralizado subyacente.

El muestreo de suelos se emplea para localizar las anomalías de mineral acumuladas en material transportado, que se ubica encima de un cuerpo mineralizado. El grado, en que la anomalía depende del cuerpo mineralizado subyacente, es mucho menor en comparación con el método anterior.

Por medio de un muestreo profundo de calicatas y trincheras se puede comprobar, si existe una relación geoquímica entre el suelo y el cuerpo mineralizado subyacente o no.

El muestreo de rocas está enfocado en la detección de anomalías de corrosión o difusión. Las anomalías de corrosión se pueden encontrar en las rocas de caja

y en el suelo residual, que cubren el cuerpo mineralizado. Las rocas de cajas caracterizadas por una anomalía de difusión se obtienen por ejemplo a través de una perforación.

Otros rasgos también son indicativos, por ejemplo los gossan, afloramientos lixiviados y las anomalías geoquímicas secundarias que resultan del intemperismo y de la dispersión de los componentes primarios del yacimiento.

Guía Litológica.- Se debe entender un aspecto principal que existe una conexión entre el tipo de litología y el tipo de yacimiento que estamos buscando. Las rocas juegan un papel importante durante la exploración de yacimientos; ya que cada tipo de roca hospeda diferente tipo de yacimiento; en el caso del pórfido sayta, se reconocen rocas metamórfica, hipabisales e intrusivos que hospedan el yacimientos de cobre, molibdeno, oro.

Las rocas hipabisal e intrusiva normalmente presentan textura porfirítica a equigranular, en donde indicios de alteración hidrotermal forman parte importante del descubrimiento de los pórfidos.

Sin embargo algunos depósitos de tipo pórfido presentan topografía muy accidentada como consecuencia de la intensa erosión fluvial en donde la lixiviación y erosión genera una fisiografía muy accidentada. (ejem Pórfido Rio Blanco y Sayta).

Guías morfológicas: Dentro de las guías morfológicas que justifican un buen reconocimiento y evaluación de yacimientos, se distinguen geoformas discordantes, en donde la topografía ha sido labrado por la erosión y meteorización, aquí las estructuras como las fallas, las vetas y cuerpos mineralizados silicificados que distinguen de la roca caja juegan un papel importante.

En lo que se refiere a pórfidos presentan una topografía moderadamente suave, con escarpas débiles y poco pronunciadas, esta topografía ha sido modelado como consecuencia de la meteorización que afecta a la alteración supérgena como la argilización o sericitización de los componentes minerales de la roca.

Guías mineralógicas. -La mineralogía en las rocas guarda una relación directa con el tipo de alteración mineral. En el pórfido Sayta el enriquecimiento directo está relacionado a la alteración fílica y potásica, siendo débil en la alteración argílica. Las microvenillas con relleno de sulfuros en los espacios abiertos dentro de las cuarcitas, son el factor predominante en el incremento de las leyes de mineral de cobre y molibdeno que le da un valor agregado.

Todos los yacimientos mineralizados presentan aureolas de alteración mineral, sean estos en pórfidos, epitermales, skarn, mesotermales, etc, lo que implica una relación directa con la alteración hidrotermal.

Muchas veces al inicio de la exploración se reconocen grandes áreas anómalas que se diferencian del contexto geológico local, conocido como anomalías de color que refleja la alteración supérgena por meteorización del sulfuro presente en la roca.

II.2.2.- Método geoquímico.-

Exploración en ambiente geoquímico primario: abarca aquellas áreas que se extienden por debajo de los niveles de circulación de aguas meteóricas, hasta aquellos procesos de origen profundo como son el magmatismo y el metamorfismo.

Las condiciones presentes generalmente son:

- Temperatura y presión relativamente altas
- Escasez de oxígeno
- Limitado movimiento de fluidos

Exploración en ambiente geoquímico secundario: comprende los procesos superficiales de erosión, formación de suelos, transporte y sedimentación.

Las condiciones que caracterizan a este ambiente son:

- Temperatura y presión bajas
- Presencia abundante de oxígeno libre y otros gases, como el CO₂
- Flujo de fluidos relativamente libres.

Contaminación en geoquímica: Durante la toma de muestras, principalmente en sedimentos de arroyo y agua, es posible que éstas no representen auténticamente los valores geoquímicos buscados por efectos de contaminación, los cuales exhiben patrones geométricos no relacionados con la geología, y esto es debido a la actividad humana en sus diferentes facetas.

Las principales fuentes de contaminación en Geoquímica son:

- Por actividad minera.
- Por actividad industrial.
- Por actividad agrícola.
- Por actividades de construcción.
- Por actividades domésticas.

Los métodos analíticos empleados en la exploración geoquímica son extremadamente sensibles y detectan los elementos generados como desechos por estas distintas actividades.

Estudios de orientación.- Son estudios preliminares que nos permiten orientar la exploración geoquímica en una área determinada. Cada área es diferente y se presentan una gran cantidad de variables que originan la dispersión de los elementos en los ambientes geoquímicos primario y secundario; y la determinación de estas variables forman la base para la aplicación de los métodos geoquímicos.

Los principales parámetros que incluye un estudio de orientación son:

- Elemento o elementos a analizar
- Tipo de dispersión geoquímica.
- Identificar la posible contaminación Método de muestreo.
- Método de muestreo
- Clases de muestras
- Intervalo de muestreo
- Técnica analítica a utilizar.
- Evaluación e interpretación de los valores geoquímicos resultantes.

Falsas anomalías (anomalías no significativas).- Son concentraciones altas del elemento o de los elementos en estudio, que no necesariamente está relacionado con un yacimiento mineral de valor económico. Es decir, un alto contenido de elementos químicos no siempre puede ser usado como una guía para la mena.

Estas anomalías falsas generalmente se desarrollan a poca profundidad y en suelos, pueden ser causadas por efectos de contaminación, por errores analíticos o por el manejo inapropiado de los datos geoquímicos.

II.2.3.- Método geofísico.- Los métodos geofísicos son métodos indirectos de prospección o exploración respectivamente. Por medio de los métodos geofísicos se puede determinar anomalías de mineralización.

En la primera fase del proyecto se prefiere los métodos geofísicos, que contribuyen al reconocimiento general de un área de interés, como los métodos eléctricos y /o electromagnéticos, en una fase más avanzada se aplica los métodos a partir de la superficie y del subsuelo y aquellos con el que se puede delinear el depósito mineral ya descubierto como por ejemplo el método gravimétrico. Los métodos eléctricos estudian el comportamiento de una corriente eléctrica cuando ésta atraviesa el suelo. (Ver cuadro n°1).

Mineral/sedimento/ roca	Rango de Resistividad ($\Omega.m$)
Cuarzo	$10^{10} - 10^{14}$
Granito	4.5×10^3 (húmedo), 1.3×10^6 (seco)
Pirita	$2.9 \times 10^{-5} - 1.5$
Agua subterránea	10 – 100
Óxidos de hierro	0.1 – 300
Arcillas	1 – 100
Arenisca	1 - 6.4×10^8
Agua de mar	0.2
Basalto	10 - 1.3×10^7 (seco)

Cuadro n°1- Rango de resistividad de algunas rocas minerales y sedimentos (Telford et al, 1990)

Se debe tener en cuenta también que otros factores que influyen en la resistividad de las rocas y minerales son la presión y temperatura.

La polarización inducida.- es el método eléctrico común y más potente para descubrir los pórfidos cupríferos y de molibdeno con la asociación de minerales metálicos de calcopirita, calcosina, bornita, molibdenita y pirita. Es una herramienta de apoyo básico a la medición de resistividades en los materiales.

Está íntimamente ligado a la presencia de soluciones acuosas en las cuales fluyen cargas eléctricas ante la presencia de un potencial eléctrico. Detecta las propiedades eléctricas y de polarización, tiene pérdida de resolución con la profundidad, entre 200m - 400m en sistemas tradicionales y 500m - 800m en sistemas de última generación.

Método magnético.- En los pórfidos cupríferos de rocas intermedia a máfica la magnetita representa un mineral abundante, cuya alta susceptibilidad magnética se puede aprovechar para detectar el depósito mineral aplicando el método magnético. En las exploraciones mineras se aplica el método magnético en la búsqueda directa de minerales magnéticos y en la búsqueda de minerales no magnéticos asociados con los minerales, que ejercen un efecto magnético

mensurable en la superficie terrestre. Además el método magnético se puede emplear en la búsqueda de agua subterránea. Permiten interpretar el tipo de fallas que afectan el basamento magnético, así como su dirección y posible desplazamiento.

La hematita es de susceptibilidad magnética mucho menor, pero a menudo está relacionada genéticamente o estratigráficamente con unidades litológicas con un contenido apreciable de magnetita. Para los pórfidos con posibilidad de encontrar yacimientos mineralizados normalmente se utilizan la correlación alta cargabilidad más baja resistividad.

II.2.4.- Método de Sensores Remotos Y Fotografías Aéreas.- Los Sensores remotos se emplean para un reconocimiento general de un área; de las fotos aéreas principalmente se pueden deducir informaciones de las formaciones geológicas, que afloran en la superficie terrestre y acerca de la geología estructural, las imágenes de satélite dan informaciones similares y además informaciones de la composición de la materia de la superficie terrestre.

Los sensores remotos tienen aplicación en las primeras etapas del desarrollo de un proyecto (pre-factibilidad, factibilidad, etc.) es muy útil ya que estos productos permiten abarcar grandes áreas, permitiendo detectar el alcance de fenómenos no detectados con otros medios, o analizar con mayor amplitud aquellos que ya se habían considerado.

Reflectancia.- El principio en el que se basan los sensores remotos es la reflectancia que tienen los distintos elementos de la superficie, a la energía solar o a la emitida por algún dispositivo (radar).

La firma espectral no es un valor exacto sino un entorno dentro del cual pueden encontrarse los valores característicos de un determinado elemento. Asimismo,

las firmas espectrales de distintos elementos se superponen entre sí, de modo que el análisis de estos datos debe estar a cargo de especialistas.

Estereoscopia.-Es un tipo de estudio basado en el principio de observación de una misma escena desde dos puntos diferentes, se puede reconstruir una visión tridimensional del lugar.

Para realizarlo se requiere de un estereoscopio, que es un instrumento óptico formado por lentes montadas sobre un marco, y un par estereoscópico, consistente en dos fotografías consecutivas con una superposición determinada.

Las escalas varían de 1:1.000.000 a 1:100.000 para LANDSAT y 1:400.000 a 1:25.000 para SPOT.

II.2.5.- Propiedades físicas de las cuarcitas.-

Las cuarcitas son rocas metamórficas no foliada compacta de origen sedimentario cuyo componente principal es el cuarzo y presentan un cemento principal que son las areniscas.

Las cuarcitas tienen las siguientes propiedades físicas:

- Peso específico real	2.48 gr/cm ³
- Absorción	0.42
- Resistencia al impacto	82cm
- Resistencia a la flexión	18,5 MPa
- Resistencia a los anclajes	1650N
- Estabilidad SO ₄ Mg (%)	2
- Desgaste Los Ángeles	30.1

Ratios % de porosidad

- Monzonita	0.4 - 1.5	- Pizarra	0.4 - 5
- Mármol	0.5 - 2	- Caliza	0.6 - 31
- Cuarcita	0.4 - 3.9	- Arenisca	0.5 - 35

La permeabilidad de las areniscas es el principal dominio mineralógico que identifica la roca sedimentaria, sin embargo en lo referente a las cuarcitas el tratamiento es diferente, debido a la tenacidad, compacidad y la intensidad de metamorfismo que presentan los diferentes estadios del metamorfismo regional como de contacto.

Los factores que han permitido la permeabilidad y migración de soluciones en las cuarcitas son:

- Remobilización y eventos magmáticos de magma calco alcalino de rocas tipo monzonita.
- Migración de soluciones ácidas que destruyen las cuarcitas roca caja (intenso fracturamiento por tenacidad de la roca)
- Brechamiento como consecuencia de eventos hidrotermales y tectónicos.
- Migración de sulfuros como Cpy, Mo, py en zonas abiertas
- Sistemas de venilleo y estructuras mineralizadas cortantes
- Posterior enriquecimiento secundario como consecuencia de corrientes de agua tanto innatas como meteóricas.

II.2.6.- Alteración hidrotermal.- La alteración hidrotermal es un término general que, incluye la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a un cambio ambiental, en térmicos químicos y termales, en la presencia de agua caliente, vapor o gas.

La alteración hidrotermal ocurre a través de la transformación de fases minerales, crecimiento de nuevos minerales, disolución de minerales y/o precipitación, y reacciones de intercambio iónico entre los minerales constituyentes de una roca y el fluido caliente que circuló por la misma. Aunque la composición litológica inicial tiene una influencia en la mineralogía secundaria (hidrotermal), su efecto es menor que lo debido a la permeabilidad, temperatura y composición del fluido.

Las alteraciones hidrotermales que han sido reconocidos en el proyecto básicamente son los que se conocen y ya han sido muy estudiados por diferentes autores como el modelo clásico de Lowell & Gilbert (1970) basado en el estudio de los depósitos de San Manuel – Kalamazoo; y compilación de características de otros pórfidos cupríferos americanos han sido utilizados como guías de exploración en este tipo de depósitos; un modelo más actualizado se presenta por Giggenbach (1997). (ver figura n° 1)

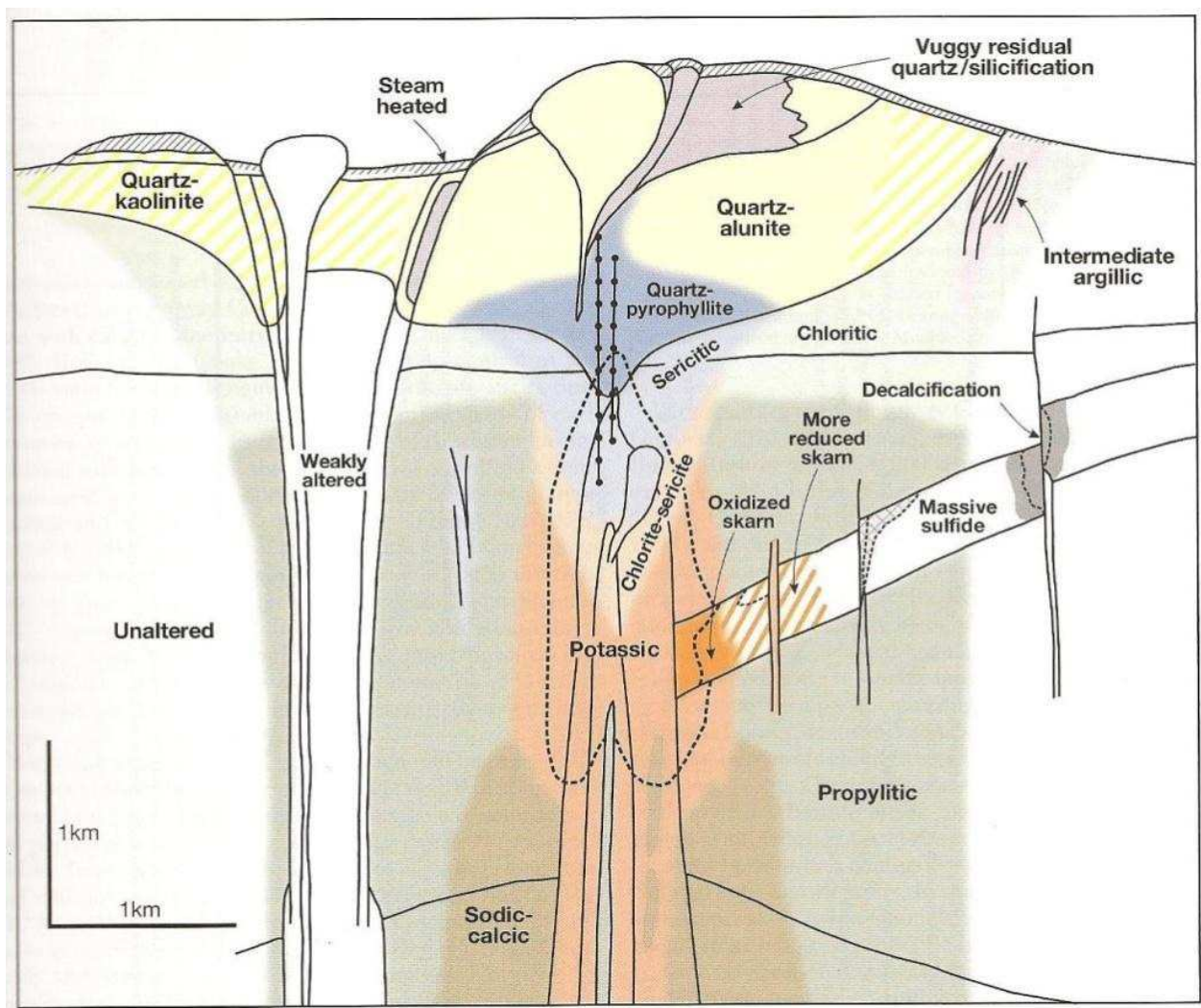
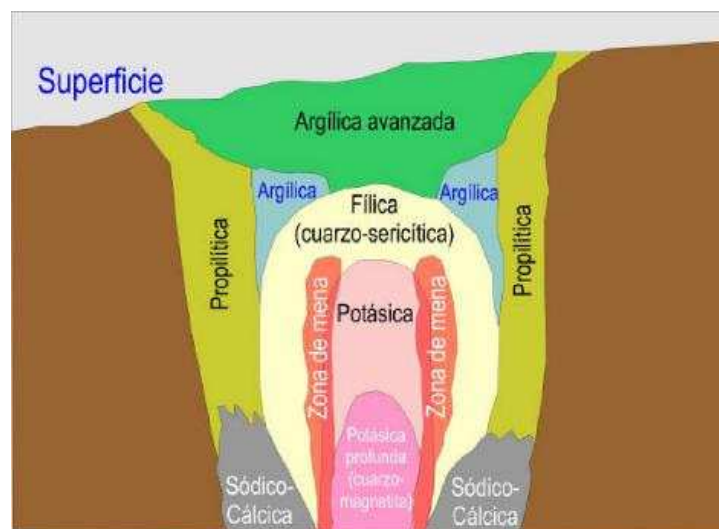


Figura n°1: Sección idealizada que muestra la zonación de alteración de los pórfidos de Cu en el mundo basado en la geología y los tipos de depósito. Note que a baja profundidad la alteración se sobre-impone a medida que profundiza, se debe tener en cuenta que los volúmenes de los diferentes tipos de alteración varían de depósito en depósito. La alteración sericitica tiende a ser más abundante en pórfidos de Cu-Mo, en tanto que la clorita-sericita se desarrolla en pórfidos de Cu-Au (por Richard Sillitoe, tomado bajo permiso de la SGE, 2009).

Todos los sistemas de pórfidos durante o después de su formación han sufrido una serie de cambios físico-químicos que han afectado directamente a las rocas hospedantes, estos cambios han generado que se califique mediante asociaciones minerales los tipos de alteración hidrotermal. (Perelló 2003). (Figura n° 2)

En el pórfido sayta, se han reconocido las alteraciones hidrotermales típicas para todos los pórfidos, el cual se describe detalladamente y se agregan fotos de cada tipo de alteración que facilitan su reconocimiento.

Figura n°2.- (derecha) Modelo conceptual diseñado para diferentes zonas de alteración hidrotermal reconocidos en el pórfido de Cu-Mo Sayta. (Gustafson & Hunt 1975)



La secuencia de alteración es la siguiente: 1) formación de las zonas de alteración potásica y propilítica; 2) desarrollo de la alteración fílica (hacia fuera y arriba); y 3) formación de facies de alteración argílica en la parte superior del sistema.

Alteración Propilítica.- Presencia de epidota y/o clorita y ausencia de un apreciable metasomatismo catiónico o lixiviación de álcalis o tierras alcalinas; H₂O, CO₂ y S pueden agregarse a la roca y comúnmente se presentan también albita, calcita y pirita.

Este tipo de alteración representa un grado bajo de hidrólisis de los minerales de las rocas y por lo mismo su posición en zonas alteradas tiende a ser marginal.

Características: la alteración propilítica se produce como consecuencia de un débil metasomatismo; principal cambio en la composición química es la adición de volátiles como CO_2 y H_2O ; ausencia o escasez de minerales de mena (bornita, calcopirita y molibdenita); pocos sulfuros de hierro y óxidos (pirita menor, hematita local y relictos de magnetita); relictos de Feldespato potásico en rocas silíceas; las plagioclasas son reemplazadas por albita-calcita-epidota e illita o sericita terrosa; los minerales máficos son por clorita y actinolita con relictos de biotita.

Alteración Argílica Intermedia.- Importantes cantidades de caolinita, montmorillonita, smectita o arcillas amorfas, principalmente reemplazando a plagioclasas; puede haber sericita acompañando a las arcillas; el feldespato potásico de las rocas puede estar fresco o también argilizado. La alteración argílica intermedia representa un grado más alto de hidrólisis relativo a la alteración propilítica.

Características: Se observa incremento de arcillas del grupo de la smectita; hidratación en las arcillas que destruyen los feldespatos; las plagioclasas y ferro magnesianos han sido reemplazados por las arcillas; la presencia de clorita y débil epidota también caracteriza esta alteración; pirita, y débil presencia de epidota.

Alteración Fílica.- Ambos feldespatos (plagioclasas y feldespato potásico) son transformados a sericita y cuarzo, con cantidades menores de caolinita. Normalmente los minerales máficos también están completamente destruidos en este tipo de alteración.

Características.-

Rocas félsicas a intermedias con:

- minerales máficos que son reemplazados por sericita-óxidos de Fe-Ti- py;
- plagioclasa y feldespato K son reemplazados por sericita;
- sulfuros de hierro (pirita) son abundantes

Rocas intermedias a máficos (feldespático K no está presente);

- clorita presente con sericita en minerales máficos.

Alteración Potásica.- Alteración de plagioclasas y minerales máficos a feldespato potásico y/o biotita. Esta alteración corresponde a un intercambio catiónico (cambio de base) con la adición de K a las rocas.

A diferencia de las anteriores este tipo de alteración no implica hidrólisis y ocurre en condiciones de pH neutro o alcalino a altas temperaturas (principalmente en el rango 350°-550°C).

Por esta razón, frecuentemente se refiere a la alteración potásica como tardi-magmática y se presenta en la porción central o núcleo de zonas alteradas ligadas al emplazamiento de plutones intrusivos.

Características.- Anfíbol remplazado por biotita (desmenuzado, molido) "shreddy"; plagioclasa remplazada por Feldespato Potásico; es común el depósito de Fe (como magnetita) y Cu (como sulfuro).

A valores altos K/H: estabilidad de feldespato K

A valores altos de Mg/H: biotita, raramente clorita (baja t°)

A valores muy altos de Mg/H: cordierita (alta t°); talco

"Carten (1986) definió la alteración sódico-cálcica en las zonas de raíz del pórfido cuprífero Yerrington (Nevada, USA), la que se caracteriza por una asociación de actinolita, albita oligoclasa-andesina, epidota, magnetita, clorita, cuarzo, escapolita".

En muchos estudios los minerales que la caracterizan la alteración sódico-cálcica se atribuían indistintamente a una alteración propilítica "de alta temperatura" y/o a alteración potásica. Esta alteración ocurre en la porción

profunda de pórfidos cupríferos y se desarrolla en forma simultánea con la alteración potásica a niveles más altos

II.2.7.- Zonación y paragénesis de mineral

Zonación.- corresponden a cambios mineralógicos tanto en la vertical, como en la horizontal en áreas mineralizadas. (Ver figura n°3)

Un fluido mineralizador cambia gradualmente su composición mientras migra desde su fuente ya que reacciona con las rocas, cambiando su composición química, pH y otras propiedades; migra a sectores de menor presión y pierde calor al entrar en contacto con rocas más frías.

Figura N°3.- (derecha)
Zonación por efecto supérgeno en pórfido cuprífero: Gossan o sombrero de hierro en la parte superior (óxidos e hidróxidos de hierro), minerales oxidados de cobre; crisocola, atacamita, malaquita), luego una zona de enriquecimiento supérgeno (sulfuros secundarios; calcosina, covelina) y la zona primaria o hipógena en profundidad (sulfuros primarios; bornita, calcopirita)



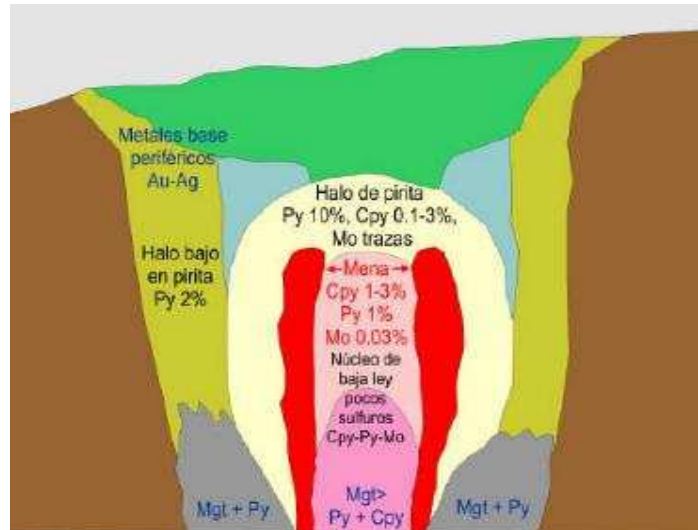
Al ocurrir estos cambios físicos y químicos, los minerales de mena y ganga se aproximan a sus respectivas constantes de equilibrio y son depositados en cierta secuencia. Esta depositación secuencial provee un registro detallado de la evolución en tiempo y espacio de una solución mineralizadora.

Así por ejemplo los pórfidos cupríferos presentan un núcleo de alteración potásica (feldespato K, biotita, que grada hacia fuera, hacia una alteración fílica (cuarzo-sericita). Más periféricamente encontraremos facies argílica (intermedia o avanzada) y propilítica (clorita, epidota, calcita). (Sillitoe 2000 SEG, v.13, p. 315–345).

La zonación de la mineralización en pórfido está dado por:

a.- Zona de Mena.- formando un cilindro en la parte externa de la zona de alteración potásica o interna de la zona de alteración fílica (sericítica), calcopirita (1-3%), pirita (1%), molibdenita (0.03%). (Ver figura n°4).

Figura N°4- (derecha) Esquema general de un pórfido cuprífero indicando la zona de mena en torno a un núcleo de baja ley. Distribución de minerales de mena en un pórfido cuprífero típico. Py= pirita, Cpy= calcopirita, Mo = molibdenita, Mt= magnetita, metales base en borde superior del pórfido, y los halos de pirita, inmediatamente debajo de este halo piritoso se ubica la mena de mineral.



b.- Núcleo de baja ley y zona periférica.- - presenta bajo contenido de calcopirita, pirita, molibdenita, magnetita en porción profunda. Básicamente se encuentra al centro del pórfido normalmente presenta alteración calco sódica y potásica. En la zona periférica se puede encontrar fácilmente calcopirita, galena, esfalerita, Au, Ag. (Ver figura n°5)

Figura N°5.- (derecha) Distribución de zonas de alteración de mineralización en un pórfido cuprífero combinando los modelos de Lowell y Gilbert (1970), Gustafson y Hunt (1975) y Giggenbach (1997). Núcleo de baja ley normalmente está asociado a alteración potásica y calcosódica, mientras que el halo piritoso se encuentra al borde de la zona de mena.



c.- Zona de Pirita.- esta zona corresponde a una zona de alteración fílica y argílica con presencia importante de pirita (10%), calcopirita (0.1-3%), y trazas

de molibdenita, el halo piritoso constituye una evidencia de la cercanía de la zona de mena en todo pórfido y el núcleo de baja ley. (Ver figura n°6).

Paragénesis.- Un fluido mineralizador cambia gradualmente su composición, mientras migra desde su fuente ya que reacciona con las rocas, cambiando su composición química, pH y otras propiedades físico-químicas; migra a sectores de menor presión y pierde calor al entrar en contacto con rocas más frías.

Al ocurrir estos cambios físicos y químicos, los minerales de mena y ganga se aproximan a sus respectivas constantes de equilibrio y son depositados en cierta secuencia. Esta depositación secuencial provee un registro detallado de la evolución en tiempo y espacio de una solución mineralizadora. La secuencia temporal de depositación de minerales se conoce como secuencia paragenética o paragénesis.

La secuencia paragenética se caracteriza por el sucesivo reemplazo de sulfuros ricos en Fe (pirita, calcopirita) por sulfuros ricos en Cu (bornita, calcosina, covelina, digenita) lo que puede explicar la liberación de Fe y la formación de hematita hipógena que acompaña a los sulfuros en el yacimiento mantos Blancos.

II.2.8.- Distribución de pórfidos en el mundo.- Alrededor del mundo muchos yacimientos de tipo pórfido de clase mundial se han descubierto y continúa la exploración intensa como consecuencia del alza constante del precio de los metales y la industrialización del gigante asiático (China), lo que nos convierte al Perú en uno de los exportadores principales de materia prima del mundo.

En el mapa de distribución de los yacimientos minerales en el mundo se observa que el Perú es uno de los países estratégicamente ubicados, en donde la cordillera de los andes atraviesa de sur a norte, además se observa con puntos la ubicación de yacimientos minerales de clase mundial. (Ver figura n°6)

Los productores principales de cobre en el mundo cuyas reservas pueden soportar por más de 50 años son en secuencia: Chile, Perú, Australia y EEUU.
(Ver cuadro n°2).

PRODUCCION MUNDIAL DE MINERALES 2011 (Fuente: Servicio Geológico USA)								
Ranking	ORO	TM	COBRE	TM	PLATA	TM	ZINC	TM
1	CHINA	355	CHILE	5.42 M	MEXICO	4500	CHINA	3.9 M
2	AUSTRALIA	270	PERU	1.23 M	CHINA	4000	AUSTRALIA	1.4 M
3	USA	237	CHINA	1.19 M	PERU	3400	PERU	1.25 M
4	RUSIA	200	USA	1.12 M	AUSTRALIA	1900	INDIA	0.79 M
5	PERU	164	AUSTRALIA	0.94 M	CHILE	1400	USA	0.76 M

Cuadro n° 2.- tabla donde se muestra la producción mundial de los minerales económicos hasta el 2011, datos USGS, se observa la posición del Perú en el ranking de la producción mundial.

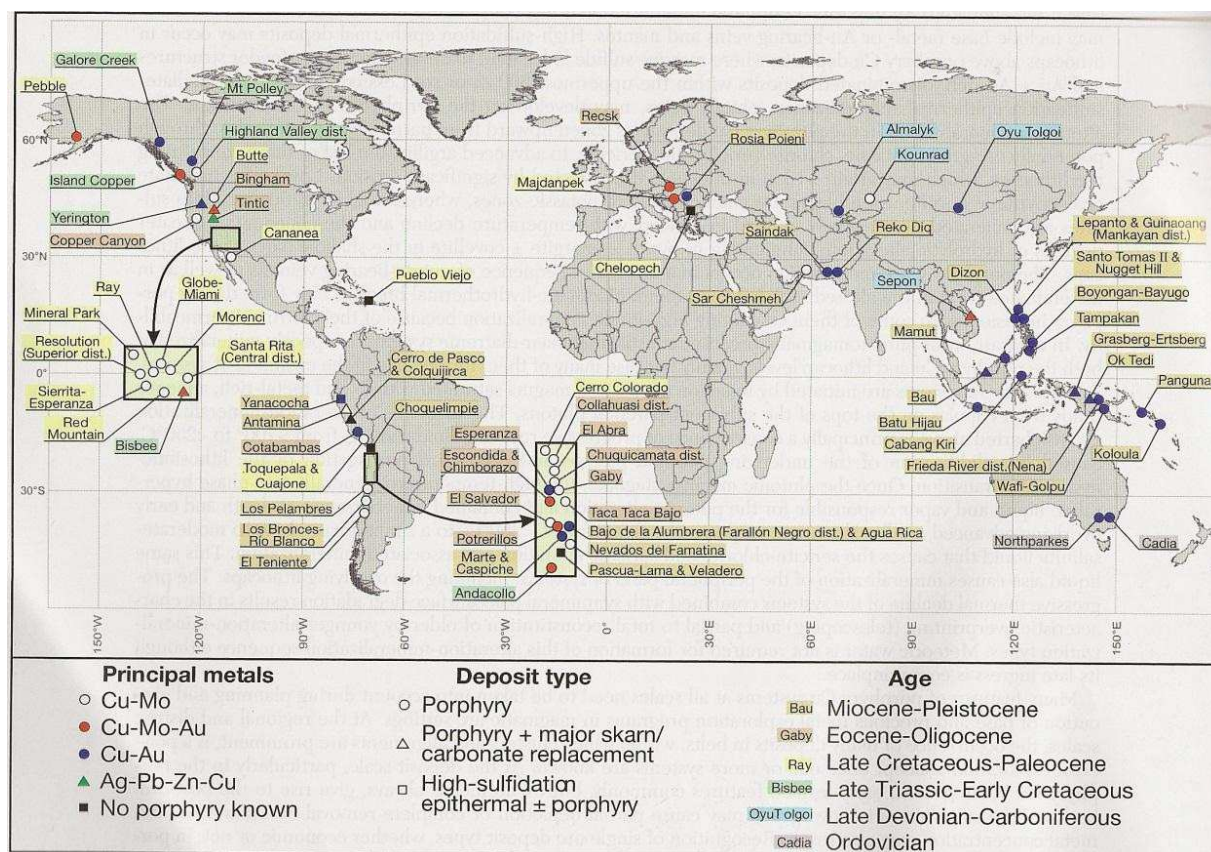


Figura n°6- Principales depósitos de cobre en el mundo con contenido de metales y edades indicados. Richard Sillitoe, pág. 4 (Porphyry copper Systems, 2010, SEG V.105, Pág. 3-41). (Sillitoe, R. 2010).

II.3.- MARCO CONCEPTUAL

II.3.1.- Evolución magmática.- La mayoría de los magmas no llegan directamente a la superficie desde su zona de generación, sino que se aleja en una cámara magmática relativamente superficial (1-5 km). En esta cámara el magma experimenta una serie de procesos que cambian su composición química.

La asimilación y contaminación magmática se refiere a los procesos en los que el magma funde porciones de las rocas encajonantes. Estas rocas pueden quedar englobadas dentro del magma y ser asimiladas por él, total o parcialmente. (José Perelló, Víctor Carlotto, SEG, Dec. 2003).

La mezcla de magmas se produce cuando a una cámara ocupada por un magma ya diferenciado llega desde la misma fuente un magma primario; en estos casos el nuevo magma más caliente y más fluido tiende a desalojar al diferenciado del techo de la cámara. (Benavides-Cáceres, V. 1999).

Todas las rocas ígneas se originan de un magma basáltico primario, el cual, al evolucionar, se va convirtiendo cada vez en un magma ácido o silíceo hasta llegar al granito.

En otras palabras, la composición de los magmas primarios finalmente se modifica para producir una gran variedad de rocas, desde el gabro hasta el granito.

II.3.2.- Diferenciación magmática.- Se refiere básicamente a una cristalización fraccionada, debido a que en un momento de la consolidación del magma, coexisten una fracción sólida y una fracción líquida.

“La fracción consolidada o sólida, está formada por minerales más densos y menos polimerizados y la fracción residual aún fundida es muy diferente a la primitiva y mucho más ácida. Los minerales primeramente formados al ser más

densos se concentrarán en la parte más profunda de la cámara magmática". (Victor Maksaev 2003. Jeffrey Hedenquist, Jeremy Richards, Vol. 10 SEG 1998).

Si por un proceso de compresión o por otra causa asciende el magma a zonas más superficiales ascenderá primeramente el residuo aun fundido de composición más ácida.

Por este proceso y a partir de un magma único pueden formarse rocas muy diferentes entre sí, es decir, a partir de un magma inicialmente básico pueden formarse rocas ácidas graníticas que son las más abundantes de la corteza.

Si el proceso de cristalización se interrumpe en distintos momentos obtenemos magmas de composiciones muy variados, intermedias entre la basáltica y la granítica.

II.3.3.- Magma calco alcalino.- Los magmas calco-alcalina incluyen rocas volcánicas como el basalto, la andesita, dacita, riolita, así como sus equivalentes intrusivos (gabro, diorita, granodiorita y granito).

Los magmas básicos tienen una temperatura mayor a los 1000°C, con contenido de SiO₂ en menos del 50% y da lugar al gabro y basalto. Los magmas ácidos tienen una temperatura menor a los 900°C, con SiO₂ en más de un 50% y dan lugar a los granitos y riolitas. Se oxida suficiente para precipitar grandes cantidades de magnetita, óxido de hierro.

Estos magmas ocurren en las zonas de Subducción, en los Arcos magmáticos de los arcos insulares maduros y en los márgenes continentales.

Las rocas calco alcalinas están representadas por:

a.- Las rocas plutónicas desde el gabro hasta el granito, pasando por la granodiorita y diorita;

b.- Las rocas volcánicas, en los arcos insulares, siendo la andesita con (59% SiO_2 , K) y elementos como: rubidio, estroncio, bario, zircón y uranio.

c.- Las rocas más silíceas, en los márgenes continentales, como; la dacita y riolitas (61% –62% SiO_2), concentraciones de K y elementos como; rubidio, estroncio, bario, zircón, torio, uranio, etc. Dentro de este tipo de magma se enmarca el batolito Andahuaylas- Yauri, y como consecuencia de ella el pórfido Sayta.

II.3.4.- Formación de la mineralización.- La mineralogía de alteración (hidrotermal o supergénica) es una de las herramientas más útiles de en la exploración. Los yacimientos hidrotermales presentan una aureola de alteración, que suele disponerse simétricamente en torno al cuerpo mineralizado. De modo que la mineralización de sulfuros y la alteración silicatada pertenecen al mismo sistema.

La naturaleza de las soluciones hidrotermales debe interpretarse como la acción de romper la estructura física de las rocas por las agua termales. Su acción es visible sólo en la forma de depósitos minerales o como una alteración de la pared rocosa.

Debido a que el agua hierve a 100°C y el magma tiene temperaturas que superan los 600°C - 700°C ; el fluido liberado está inicialmente en estado supercrítico, pero al interceptar el solvus con el diagrama de fase se separan una fase líquida salina y una fase vapor diluida.

Como sabemos la palabra hidrotermal, se refiere a aguas calientes cuya temperatura oscila de acuerdo a las estadísticas comprobadas, en muchos pórfidos y depósitos minerales entre los 500°C y 50°C .

El desplazamiento de las soluciones hidrotermales desde su origen hasta el lugar de deposición, depende en gran manera de las aberturas disponibles en las rocas. La depositación de grandes masas minerales extrañas, implica

la necesidad de una continua provisión de materia nueva, y esto significa que deben existir conductos de tránsito. (Rinehart, and Winston, 2001).

Las aberturas en las cuarcitas producidas por el microfracturamiento deben que estar interconectadas aunque la porosidad de las areniscas ha permitido buena depositación de los sulfuros. En el caso de las cuarcitas huintuyo estas aberturas se puede observar en las microfracturas generados por la intrusión de las rocas hipabisales; es evidente que los depósitos de relleno de cavidades no pueden formarse sin la existencia de cavidades susceptibles a ser rellenadas.

También es evidente que los depósitos de substitución se forman por que las soluciones alcanzan a la roca que experimenta la substitución. Por consiguiente, las aberturas en las rocas son fundamentales para la formación de depósitos epigenéticos. Asimismo son esenciales para la existencia de masas de aguas freáticas.

La depositación a partir de soluciones hidrotermales son cambios predominantemente químicos en las soluciones, reacciones entre las soluciones y las paredes rocosas o los materiales de los filones, y cambios de temperatura y presión.

Cuando se libera el fluido del magma (principalmente agua), elementos como el azufre, cobre, molibdeno y oro pueden concentrarse en solución mientras que cuando la parte acuosa del magma es expulsada del exceso de presión de fluido produce brechamiento y fracturamiento de las rocas intrusivas y rocas de caja, lo que provee vías permeables para que las soluciones hidrotermales de derivación magmática fluyan y recorran a través de las rocas y depositen su carga metálica.

El enfriamiento del magma intrusivo produce la circulación de aguas subterráneas en las rocas de caja circundantes en torno al centro de calor, generando celdas convectivas similares a las que existen en los fondos

oceánicos, cuyos conductos de emisión forman los depósitos de sulfuros masivos. (Gustafson, L.B. and Hunt, J.P. 1975).

El escape de las soluciones a espacios más abiertos por encima de las zonas muy estrechas y de carácter semi abierto hace descender la presión y temperatura provocando la deposición de los minerales presentes.

Muchas fallas a lo largo del río Livitaca han permitido la depositación de las soluciones mineralizantes como consecuencia directa del rápido enfriamiento.

II.3.5.- Pórfido de cobre.- El término pórfido se refiere a una textura de rocas ígneas, que tiene grandes cristales en una matriz relativamente de grano fino, que puede contener minerales de sulfuro de cobre y otros.

Son depósitos que contienen grandes cantidades de mineral con un promedio de una fracción del 1% de cobre en peso, aunque de calidad inferior, los depósitos son importantes porque se puede trabajar a gran escala a bajo costo.

Los pórfidos cupríferos son yacimientos de gran tonelaje (110-1,200 millones de TM) y bajas leyes de cobre (0.2% - 2%Cu). Aparte del cobre estos yacimientos pueden presentar cantidades variables de molibdeno y/o metales preciosos (Au, Ag), susceptibles de ser recuperados económicamente.

Los pórfidos cupríferos se presenta en marcos geológicos similares a los depósitos epitermales de oro y ellos comparten muchas de las características y procesos de formación. En general los pórfidos ricos en Cu y Mo, se asocian a magmas alcalinos con una importante componente de corteza continental re-fundida, razón por la que la roca principal es la Traquiandesita. . (Sillitoe, R. 2010 Ver figura nº7)

La investigación obedece a tratar de entender la mineralización en las areniscas y cuarcitas de la formación huintuyo (grupo murco) que se encuentran englobados dentro de la traquiandesita y parte de la monzonita.

La importancia de la tesis está en generar criterios de investigación y ofrecer las técnicas que justifiquen la búsqueda de nuevos yacimientos y en este tipo de rocas como las areniscas y cuarcitas englobados en intrusivos con contenidos de cobre o similares.

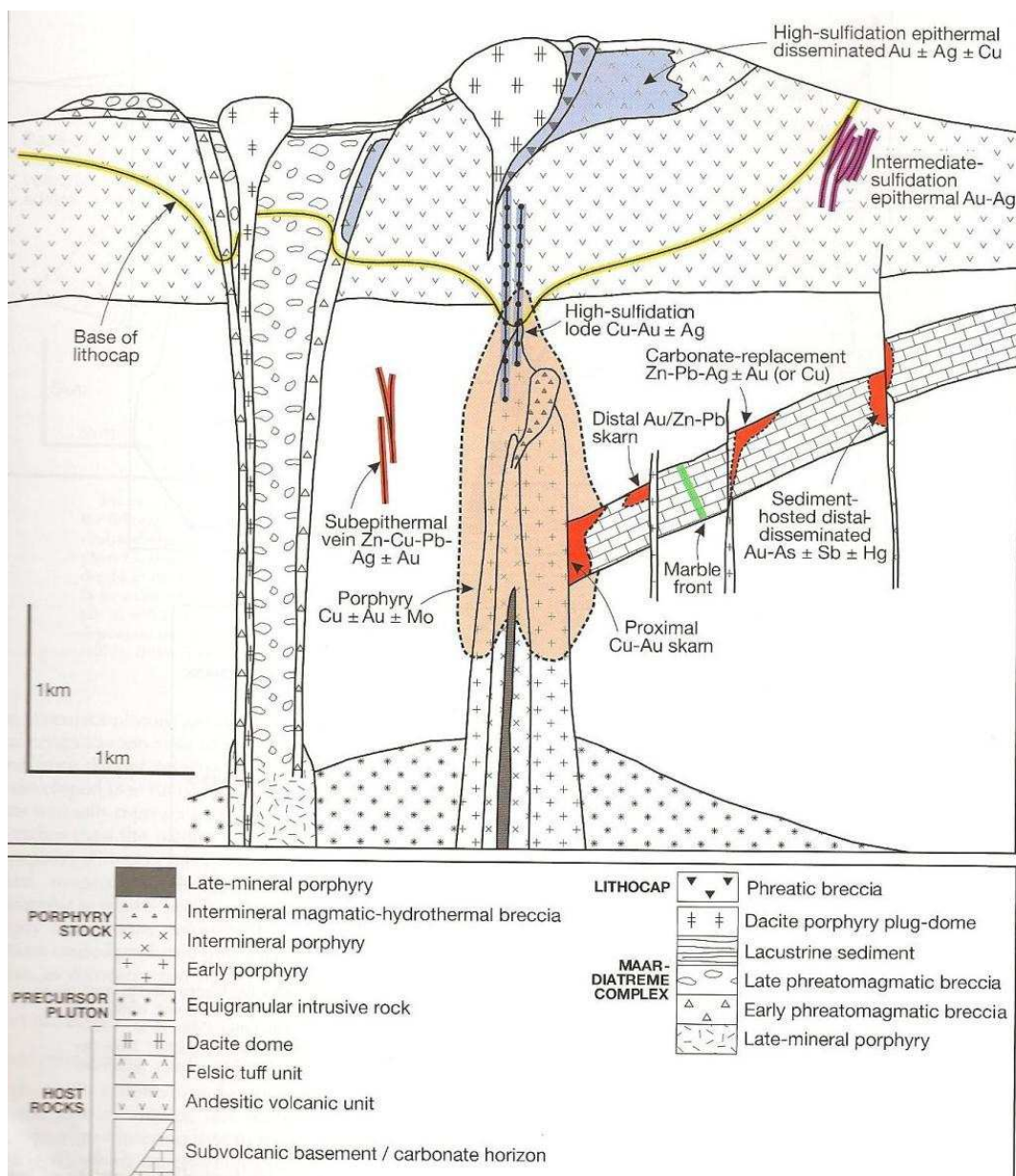


Fig n° 7.- Anatomía de un sistema de pórfido mostrando la interrelación especial de pórfido de Cu-Mo, ubicado en la zona central de un yacimiento de pórfido multiphase y roca hospedante para el Au, Ag, Mo. Skarn proximal y distal, remplazamiento de carboto en sedimentos, depósitos epitermales de alta y baja sulfuración (la leyenda explica la secuencia temporal de los tipos de roca con el pórfido .. (por Richard Sillitoe 2010 SEG).

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

III.1.- HIPÓTESIS GENERAL

La fuente de mineralización del pórfido Sayta se da a partir de la intrusión de rocas de tipo monzonita, cuya migración de soluciones hidrotermales con altos contenidos de cobre, molibdeno y menor contenido de oro, se emplazan en rocas volcánicas de tipo traqui-andesita, pero de manera particular y especial en las cuarcitas de la formación huintuyo del grupo murco, que lo diferencian de otros tipos de pórfidos de Cu-Mo en la región.

III.2.- HIPÓTESIS ESPECÍFICA

Los pórfidos se generan a partir de magmas alcalinos y calco alcalinos y al emplazarse atraviesan grandes masas rocosas estériles; durante este largo proceso de emplazamiento generado por las condiciones físico-químicas promovidas por la temperatura y presión, preparan la roca caja para generar grandes aureolas de alteración hidrotermal y luego depositar los minerales.

El emplazamiento del pórfido Sayta se ha enriquecido en las cuarcitas de la formación Huintuyo, esto es una evidencia de nuevos criterios de investigación como la utilización del Strater, terraspec, pistola láser para análisis in situ de rocas. La alteración mineral en las micro fracturas y la mineralización en las cuarcitas, que formo el enriquecimiento secundario de los minerales de Cu es diferente a los pórfidos conocidos.

III.3.- VARIABLES

El hombre de ciencia elabora construcciones hipotéticas o constructos teóricos para denominar a los fenómenos que estudia. Todos estos constructos toman la denominación genérica de variables. (Mejía, M.E. 2008)

III.3.1.- Variables Independientes.- La fuente de mineralización se da a partir de rocas de composición monzonítica.

Indicadores:

- Petrografía de roca monzonita
- Cartografiado geológico a escala 1/1000
- Muestreo geoquímico de suelos y rocas
- Resultados de perforación diamantina en 9 plataformas con profundidades que varían entre 180m a 450m.

III.3.2.- Variables Dependientes.- por migración de soluciones hidrotermales con contenidos de cobre molibdeno y menor contenido de oro se emplazan en rocas volcánicas en especial y particular en cuarcitas del Grupo Murco que lo diferencian de otros pórfidos de Cu Mo.

Indicadores:

- Permeabilidad primaria y secundaria
- Valores de Cu, Mo, Au del muestreo tanto en suelos como en rocas
- Petrografía de rocas
- Mapa de isovalores con los resultados de muestreo
- Formaciones geológicas
- Geofísica por el método de IP y magnetometría
- Resultados de perforación diamantina
- Secciones geológicas

III.4.- DISEÑO Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

El diseño de investigación fue del tipo múltiple que exponemos a continuación:

III.4.1.- Exploratorio.- Porque la mineralización de cobre parcialmente se emplaza en areniscas y cuarcitas y este tipo de mineralización es aún poco estudiado.

En el caso del Pórfido Sayta su emplazamiento se encuentra casi al borde del complejo, asociado a cuarcitas de la Formación Huintuyo, cubiertas por tobas e ignimbritas recientes del pleistoceno.

III.4.2.- Descriptivo.- se describirá todas las características geológicas y estructurales con las respectivas posibilidades económicas que ofrece la Formación Huintuyo (denominado como Formación Huintuyo en el cuadrángulo de Livitaca, Bol nº 52, serie A. Ingemmet) en cuya roca se han depositado la mineralización de cobre y molibdeno convirtiéndolo en un metalotecto muy importante y que es roca huésped para diferentes tipos de yacimientos.

III.4.3.- Correlacional.- hay muchos depósitos mineralizados en el batolito Andahuaylas - Yauri, que ameritan intensos programas de exploración; de ellos se han identificado importantes depósitos descubiertos en la década de los 90's hacia adelante como son: Antilla, Ayahuay, Chancas, Sayta y otros.

Los tipos de yacimientos son distintos, el emplazamiento de los cuerpos también, la correlación existente entre los pórfidos encontrados en el batolito Yauri-Andahuaylas como son Sayta y Yanque corresponden a una misma edad y etapa magmática.

III.5.- TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Metodología es parte de la lógica que estudia los métodos y sus formas lógicas especiales para la investigación. (Garro Ayala, M.S. 2009).

Para el presente trabajo de investigación se ha requerido básicamente del análisis muy detallado de la base teórica y antecedentes del depósitos los cuales ayudaron en el entendimiento de la mineralización en las cuarcitas, que normalmente no es común en los pórfidos del mundo, la parte más importante consistió en aplicar los conocimientos y técnicas modernas que nos ayudaron a entender las características del yacimiento.

Los métodos que caracterizan el pórfido de Cu-Mo Sayta son geológicos, geoquímicos, geofísicos y muchos otros métodos que a continuación desarrollaremos:

Método geológico.- se ha procedido utilizando plano topográfico a escala 1/25000 correspondiente a la hoja 29-s Livitaca I-SO, en el cual se ha plasmado todos los datos reconocidos en el campo como son la litología, alteración mineralización y estructuras. (Ver plano 10).

Con los datos de campo se ha elaborado el plano geológico con su respectivo perfil sección y un modelo conceptual idealizado de la forma de yacimiento. Se han realizado un plan de muestreo de rocas, suelos y sedimentos siguiendo un plan de reconocimiento de acuerdo al contexto geológico local reconocido durante el mapeo.

Para conocer los esfuerzos principales y secundario se las diferentes estructuras como las fracturas, fallas y venillas se ha ubicado estaciones estructurales en el cual los resultados de las mediciones se demuestran en el capítulo de geología estructural.

Método geoquímico.- Del muestreo geoquímico se ha obtenido un aproximado de 650 recopilados durante el mapeo geológico; se utilizó el terraspec para identificación de los filosilicatos, y la pistola laser de análisis mineral inmediato de rocas insitu. Los resultados son confidenciales y no se tiene permiso de la empresa para su respectiva publicación.

Luego del logeo geológico, obtención de las fotografías y todo el procedimiento que exige el protocolo para sondajes diamantinos se hizo el corte del testigo en forma longitudinal dividiéndolo en dos partes iguales; las que fueron recopiladas cada 2 metros con un peso aproximado de 2.5 kg. Estas muestras fueron acumuladas en bolsas de polietileno, etiquetadas y posteriormente fueron enviadas al laboratorio.

Control de Calidad de las muestras (QAQC).- para el control de calidad de las muestras se ha procedido de la siguiente manera:

Estándar (STD).- El estándar enviado al laboratorio es un material ya pulverizado (-150 #) y que tiene un valor certificado. Corresponde a un material homogéneo y una matriz similar al material que está siendo analizado. El análisis de los ensayos de los estándares permite detectar tendencias en el laboratorio y evaluar la exactitud de los resultados.

Duplicados (DUP).- De cada 30 muestras se tomaron una muestra duplicado, las cuales han sido analizadas por ALS Chemex. El duplicado corresponde a una muestra que es dividida en dos partes representativas, las cuales son cuarteadas y homogenizadas.

El análisis en los ensayos de duplicado, estimar la desviación que tiene el laboratorio al analizar muestras iguales.

Blancos (Bln).- Se trata de minerales de cuarzo molido sin valor económico los cuales forman parte del control del muestreo que son enviados a laboratorio.

Método Geofísico.- Se hicieron 11 líneas longitudinales de 1.2km de largo y mediciones con espaciamiento de 100m, a cada lado por lo que la malla estuvo diseñada para obtener una buena interpretación de los resultados. El procedimiento de cálculo y toma de datos ha sido desarrollado por la empresa VDG del Perú. Sin embargo la interpretación de los resultados han sido un factor importante en la correlación geoquímica-geofísica, en donde finalmente se ha obtenido un mapa geofísico que haciendo un sobreimpresión de los isovalores se diseñado la campaña de perforación diamantina.

Estereoscopia.- se ha utilizado un estereoscopio de bolsillo que consiste en un instrumento óptico formado por lentes montadas sobre un marco, y un par estereoscópico, y luego apoyado en un par fotográfico consecutivo con

una superposición determinada se ha elaborado un mapa geológico regional preliminar que fue un apoyo para la etapa de exploración.

Las plataformas de perforación se ubicaron en un área de 7m x 6m, para ubicar la máquina de perforación, cuyo costo aproximado es de S/2500.00

CAPÍTULO IV

ANALISIS E INTERPRETATION DE LA INFORMACIÓN

IV.1.- UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD *(Ver figura n°8 y cuadro n°3)*

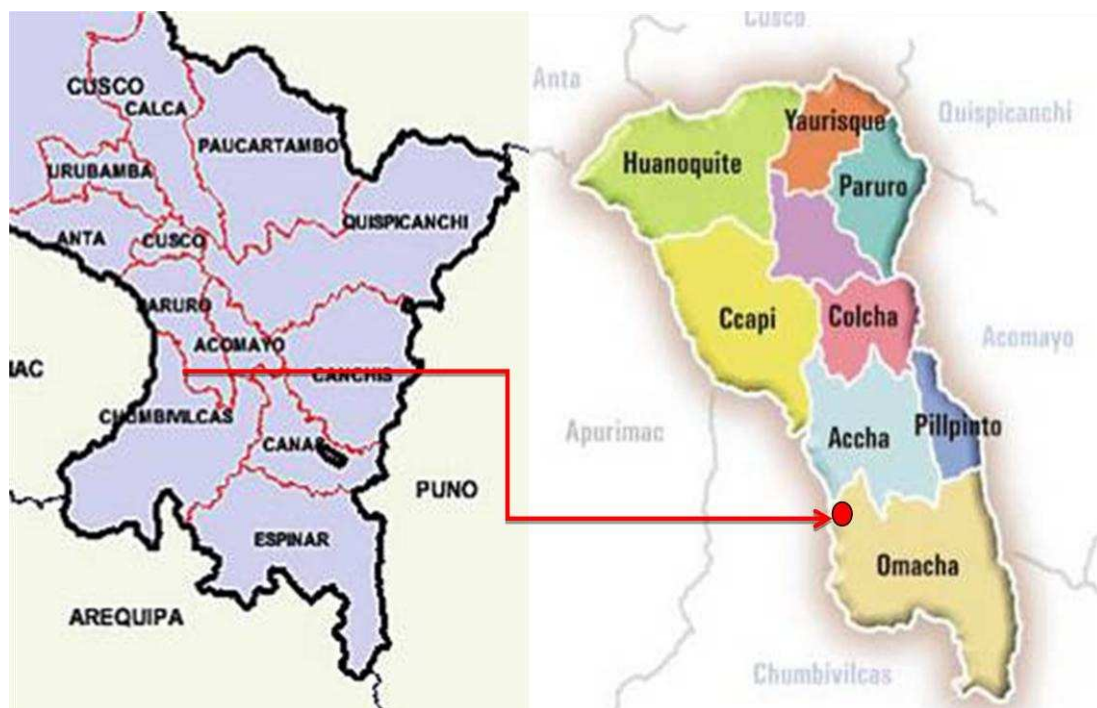


Figura n°8- Plano de ubicación del Pórfido Sayta

Cuadro n°3.- Acceso al Proyecto:

Desde	Hasta	Tiempo	Km	Via	Acceso
Lima	Cuzco	1 hora	986 km	aérea	
Lima	Cuzco	16 horas	1190km	terrestre	Asfaltado
Cuzco	Omacha	4 horas	136km	terrestre	Afirmado
Omacha	Proyecto	12km	40minutos	terrestre	carrozable

El proyecto Sayta es un yacimiento tipo Pórfido de Cu-Mo-Au que se encuentra ubicado en el departamento del Cusco, provincia de Paruro distrito de Omacha, en el límite entre la provincia de Paruro con la provincia de Santo Tomás (Chumbivilcas) a una altitud de 3200msnm, este límite está disectada por el río Livitaca que recorre en dirección Norte-Sur, el cual discurre sus aguas a lo largo de un falla regional. *(Ver figura n°8)*

El principal cerro conocido en la zona de denomina Sayta, razón por lo que se le ha asignado el nombre de Pórfido Sayta.

IV.2.- CLIMA Y VEGETACIÓN

Debido a la gran diversidad de pisos altitudinales, la región tiene una gran variedad de climas y paisajes fito-geográficos, lo que influye de manera importante en la agricultura y la distribución de la población.

En las partes más bajas (menos de 2,000 m.s.n.m.) se dan los más variados tipos de clima cálido; en los pisos intermedios el clima es templado, y hacia las partes más altas (3,700 m.s.n.m. o más), predominan las temperaturas frías

La localidad de Yauri (3,915 m.s.n.m.) tiene apenas una temperatura media anual de 3. 5°C; la ciudad de Cusco (3,399 m.s.n.m) se localiza en una zona de transición entre la zona templada "quechua" y la banda fría "puna", registra una temperatura media anual de 10.9°C; Urubamba (2,871 m.s.n.m.), situada en plena banda templada, tiene una temperatura media anual de 14,1°C.

En general, se distingue un período seco con ausencia casi total de lluvias entre mayo y setiembre, comenzando el período lluvioso en octubre, para acentuarse entre enero y marzo. La época más fría del año se da entre la segunda quincena de junio y la primera de julio, en tanto que, entre diciembre y febrero, el clima en general es más cálido y lluvioso.

IV.3.- GEOMORFOLOGÍA Y RASGOS FISIOGRAFICOS

La fisiografía de este valle estrecho es el resultado de los diferentes eventos tectónicos (fallas) por los que fluye el río Livitaca. Entre los rasgos topográficos más importantes que se observa a primera vista podemos explicar que el proyecto está disectada prácticamente por el río Livitaca y cortado por un drenaje perpendicular paralelo. (Ver foto n°1).

La secuencia de los piroclastos que presentan poca resistencia a la erosión han facilitado el encausamiento del río Livitaca, es aquí donde aflora el pórfido Sayta como una ventana cubierto por las cuarcitas Huintuyo.

La erosión aquí es constante, se trata de un valle juvenil por el que discurre el río Livitaca y permite fácilmente la lixiviación de minerales y rocas en las épocas de lluvia y alta carga fluvial. Los valles fluviales de tipo V son muy escarpados en el cual hay zonas que presentan erosión vertical de hasta 300m, por lo que hay zonas con fuerte erosión y pequeñas lomas fuera del área de influencia del río Livitaca.



Foto n°1.- Vista panorámica en 3D del proyecto Sayta, nótese el intenso modelamiento fisiográfico por la actividad erosiva del Río Livitaca y eventos tectónicos ocurridos durante el cuaternario.

En cuanto al abastecimiento de agua el río Livitaca y el río Chullumayo son una fuente permanente para el abastecimiento de agua. Estos dos ríos han cortado toda una secuencia de piro clastos y al pórfido Cu-Mo en el proyecto Sayta en estrechos valles tipo V que fluyen de sur a norte, sin embargo el caudal depende mucho de las estaciones climáticas que son muy marcadas.

(Ver foto n°2)

En épocas de verano o seco el caudal del río Livitaca es de $4\text{m}^3/\text{seg}$, mientras que en época de invierno o lluvia puede incrementar fácilmente hasta $12\text{m}^3/\text{seg}$, de igual forma el río Chullumayo presenta un caudal de $2\text{m}^3/\text{seg}$ en época de sequía mientras que en época de lluvia se incrementa hasta $5\text{m}^3/\text{seg}$.



Foto n° 2.- Vista del proyecto Sayta, el río Livitaca discurre de sur a norte foto mirando al Norte; se observa el intenso trabajo de erosión del río y atraviesa todo el pórfido aprovechando la falla NW-SE.

IV.4.- GEOLOGÍA REGIONAL

Las rocas más antiguas en el área corresponden a una secuencia de estratos abigarrados con colores que varían desde violeta, rojo marrón y rojo de grano medio a gris que pertenecen a las areniscas y cuarcitas de la formación Murco intercalada con lutitas rojizas del cretáceo inferior. (Mendivil, S. Dávila. 1994). *(ver figura n°9)*

En el área, estos sedimentos presentan un azimuth E-W y buzan al Norte.

La Formación Huintuyo se define como un grupo de sedimentos clásticos, mayormente rojizos de areniscas y cuarcitas con niveles de lutitas que sobreyacen al grupo Yura.

Los depósitos sedimentarios están identificados como una secuencia de estratos delgados a mediados sub horizontales que tienen un rumbo predominante de N290 a 300°, también se observa remanentes de sedimentos hacia el norte del proyecto cortado básicamente por el río Livitaca, en donde predomina las escarpas pronunciadas sub verticales.

De igual forma los diferentes depósitos piroclásticos cubren grandes áreas estériles sin mineralización ni alteración y que no ameritan mayores estudios.

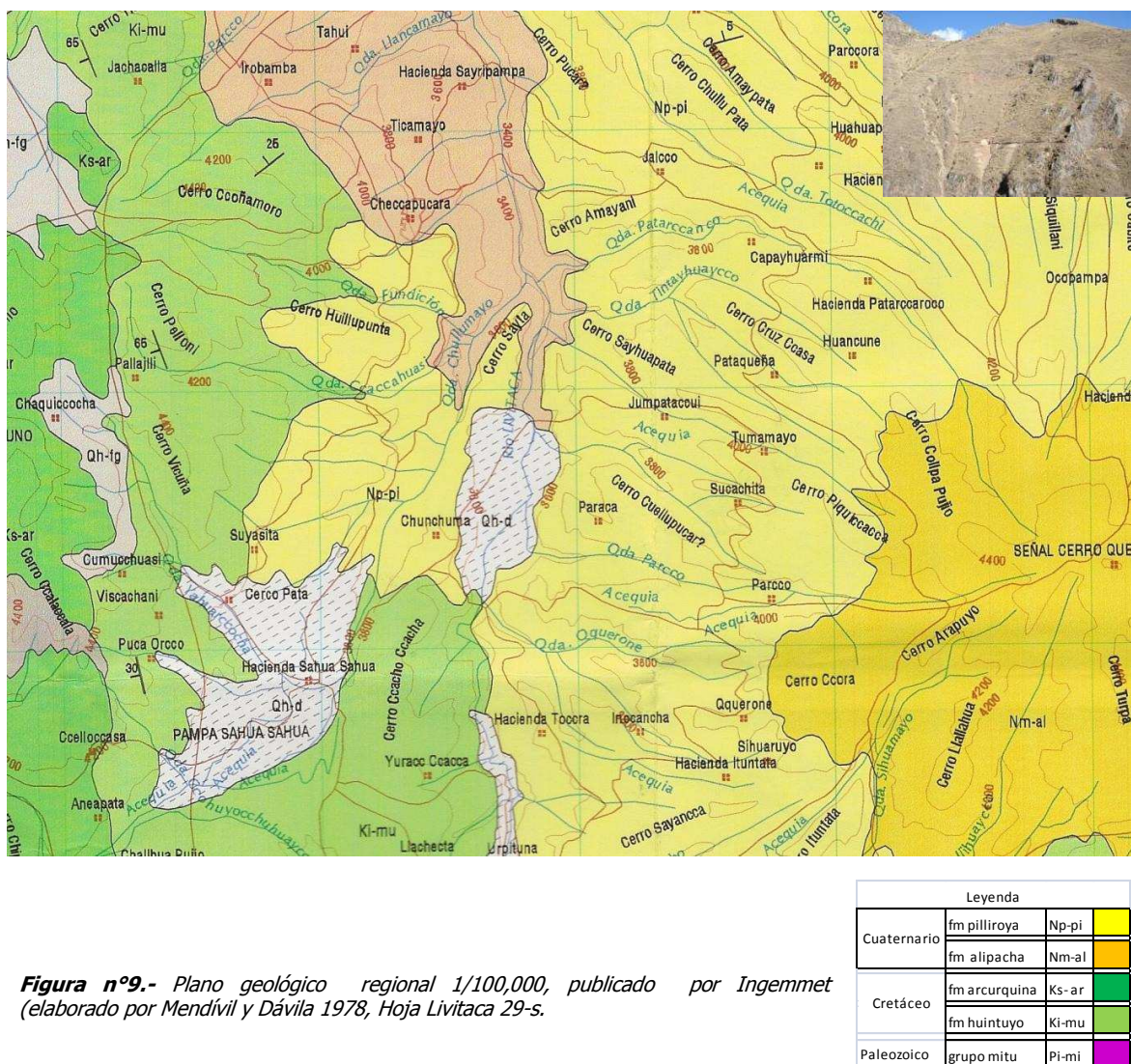
Grupo Murco.- Mendivil 1978 describe es grupo para el área de Livitaca, separando en dos formaciones como son Huintuyo y Chilliroya. Se trata de una secuencia de areniscas cuarzosas de grano fino a grueso intercalada con lutitas grises que forman lomas suaves y pertenecen al cretáceo inferior.

Formación Huintuyo.- Dávila 1987 emplea este nombre para designar a una secuencia de lomas suaves que consisten de lutitas, areniscas y limolitas en la base, mientras que en niveles superiores se hace más cuarzoso y estratificación más potente en algunos tramos aparecen cuarcitas blanquecinas a grises. Los estratos son irregulares entre 10 a 20cm su

composición es cuarzo feldespática. El espesor total de la formación Huintuyo es de 500m. Se le asigna edad cretáceo medio albiano.

Formación Chilliroya.- sedimentos de areniscas y lutitas ubicados cerca del caserío de Velille, se trata de lomada y colina pronunciadas. Su litología consiste de areniscas cuarzosas y areniscas cuarcíticas. Se estima un espesor de 1000m, se le asigna también edad del cretáceo inferior.

Para el proyecto Sayta se ha preferido llamar las cuarcitas del grupo murco. Estas rocas están expuestas en un área longitudinal norte-sur, 15 km de largo por 5 km de ancho, comprendiendo una secuencia de calizas, calcarenitas y lentes de conglomerados. (bol. n° 52, Ingemmet).



IV.4.1.- Rocas Intrusivas.- Las Formaciones sedimentarias han sido intruidos por rocas plutónicas que pertenecen al complejo batolito Yauri - Andahuaylas de edad Oligocena. *(ver foto n°3)*

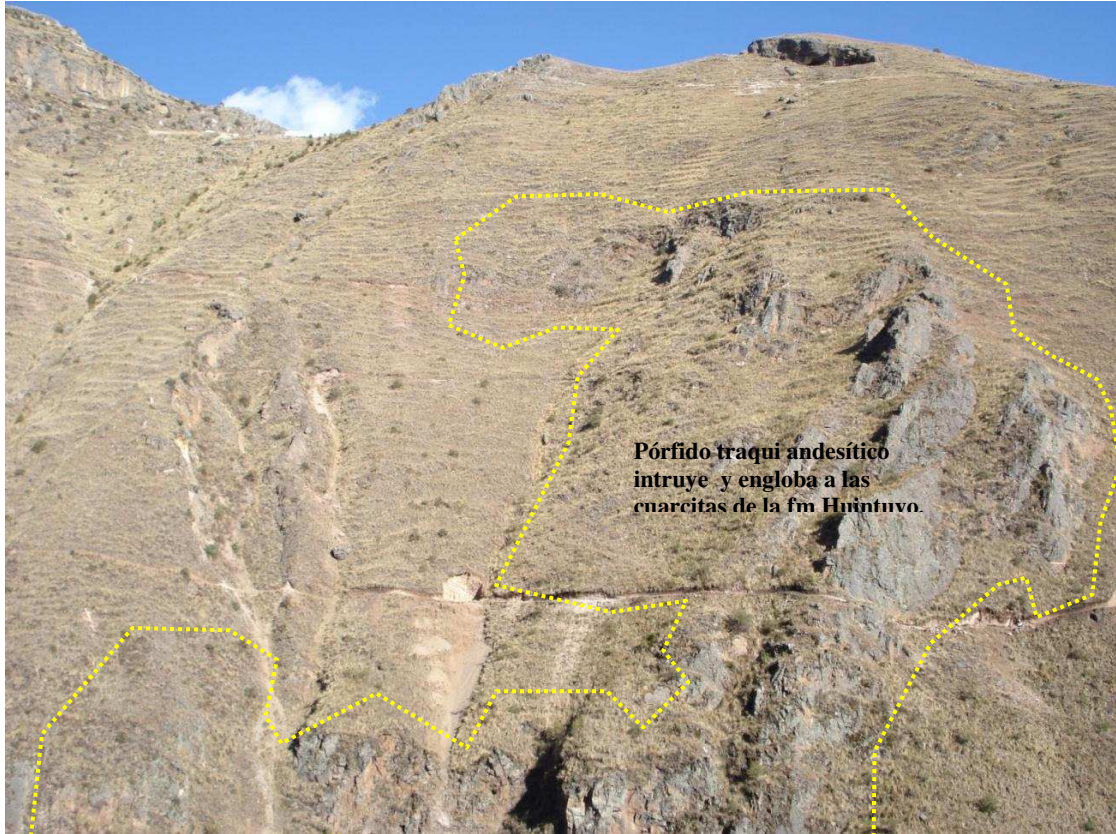


Foto n° 3.- cuerpo intrusivo que corta y engloba a las areniscas y cuarcitas de la Formación Huintuyo, esta técnica de mapeo con fotos es moderna utilizado mucho en Asia.

El batolito varía desde una composición diorítica hasta una roca de tipo granodiorítica, principalmente está conformado por feldespatos, cuarzo, hornblenda, biotita, apatita, circón y esfena principalmente forma parte de la composición mineralógica de las rocas en diferente proporción.

Los pequeños mantos, venas y lentes de skarn de la magnetita maciza son comunes en el área y probablemente están relacionados al emplazamiento del batolito.

Varios stocks de tipo sub-volcánico de naturaleza monzonítica, sills y lacolitos intruyen y cortan toda la secuencia sedimentaria del cretáceo expuestas en toda la zona de Apurímac y Cusco. Donde estas rocas cortan las calizas, es

común encontrar pequeños skarn adyacente que contiene mineralización de Cu-Au-Ag como lo que ocurre en la mina de Katanga. (Sillitoe, R. 2000).

Algunas de estos stocks tienen características típicas de pórfidos como el de Sayta con mineralización de Cu-Mo-Au que está presente en el pórfido traqui-andesítico transición hacia monzonita.

Los depósitos glaciales pertenecen a la época del holoceno ubicado en los márgenes de valles en forma de U y son características las morenas laterales o en el centro del drenaje como las morenas terminales. Los depósitos aluviales recientes no son comunes y sólo se localizan en los márgenes de los ríos más grandes.

Pórfido Andesítico .- Todo la secuencia de rocas intrusivas hasta ahora reconocidas y mapeadas en superficie del pórfido se trata de, andesitas hipabisales con fuerte predominio de plagioclasas de textura porfirítica con matriz afanítica cuya gradación vertical aparentemente es una serie de pulsos magmáticos que han diferenciado la roca que presentan débil transición hacia una traqui-andesita.

Esta roca se ha reconocido hasta ahora en los 7 sondajes con variación textural hacia el centro del sistema, en donde se hace ligeramente equi granular. "crowded"= lleno de fenocristales. (ver foto n°4).



Foto n° 4.- pórfido traqui andesítico)

El afloramiento más consistente de estas andesitas se observan a lo largo del río Livitaca y en las laderas hacia el lado oeste. Las pequeñas cantidades de biotita y hornblendas en la composición mineral de la andesita hipabisal no

exceden el 15%, básicamente se encuentra reemplazados por sericita dependiendo de la intensidad de alteración mineral.

La matriz afanítica de las andesitas es variable de acuerdo a la zonación vertical, siendo en superficie más predominante que fácilmente puede tener hasta 35% mientras que hacia la quebrada Chullumayo se comporta como roca hipabisal de textura equi-granular con matriz afanítica que puede ser menor al 20%, en todos los niveles la matriz presenta un color gris blanquecino a rosado muy débil.

Monzonita.- Esta roca se ha definido por estudios petrográficos de sección delgada, sin embargo observando la composición mineralógica se sospecha que puede tratarse de un pórfido monzonítico en donde pseudocristales de ortoclasa y plagioclasa en una matriz afanítica hacen presumir esta aseveración.

Esta posible roca se ha observado en los sondeos SAY-01 (282m-334.9m) y SAY-02 (290m - 300.10m), la certeza de este tipo de roca está sujeto a los ensayos petrográficos, puede tratarse de alteración potásica fuerte en donde la matriz predominante es la ortoclasa.

Este pórfido monzonítico ha sido cortada por una segunda fase del pulso magmático de tipo andesita porfirítica y que confunde el ensamble magmático dando lugar a una magma de composición traqui-andesítico. (Bonhomme, MG, and Carlier, G. 1990).

Este cuerpo en profundidad estaría formando parte de un evento magmático sin-mineral o que posiblemente se trataría del feeder de los eventos de mineralización y alteración que se observan tanto en superficie como en los sondeos.

En campo en los alrededores del río Livitaca el Ing. Flores (Vale) tomó 2 muestras de mano y envió al laboratorio para su respectiva interpretación, lo cual ha concluido con la identificación de una Monzonita.

Esto podría confirmar nuestra sospecha que en la parte baja del sistema y muy profundo se encontraría esta monzonita y de acuerdo a una zonación magmática vertical aflora en superficie como pequeños diques o fingers (dedos) reemplazado por traqui-andesita.

En la muestra de mano obtenida de esta roca de tipo monzonita se ha reconocido la presencia de ortoclasa en cristales menores a 1mm y a veces como matriz, predominando la plagioclasa.

Dacita.- Se trata de rocas post magmáticas que cortan a las andesitas y posiblemente a las traquiandesitas, estas rocas dacíticas aparecen como diques con orientación N300° ubicados en la margen derecha del río Chullumayo cortando una secuencia sub horizontal hasta 20° de buzamiento de cuarcitas en algunos tramos fuertemente craqueladas.

Su composición mineralógica está caracterizado por plagioclasas con porcentajes de ojos de cuarzo que aparentemente no exceden el 10%, se encuentran englobados dentro de una matriz afanítica de color gris claro totalmente estéril.

La presencia de ferro magnesiano (biotitas y hornblendas) es débil, y se encuentra moderadamente alterado a cuarzo sericita, que ha lixiviado y destruido estos filosilicatos.

Durante el mapeo geológico se ha reconocido 3 diques que afloran hacia el este del río Chullumayo, tienen grosores que varían entre 10 a 30m, mientras que en los sondeos aún no se han reconocido.

IV.4.3.- Rocas piroclásticas.- En su mayoría el paquete de rocas piroclásticas consiste de traquita, lapilli y aglomerados que sobreyacen a cuarcitas y andesitas, siguiendo una topografía irregular (paleo superficie).

Este afloramiento tiene un espesor entre 50m a 150m que cubre gran parte del pórfido, no presenta alteración hidrotermal, se muestra fresco con clastos que van desde bombas, lapilli y cenizas volcánicas ligeramente consolidados.

En el mapeo se ha identificado áreas que aún no han sido completamente reconocidas e interpretados debido al tamaño de estos depósitos (pequeñas ventanas) y pienso que siguiendo las quebradas podemos tener algunas sorpresas de encontrar otros cuerpos de pórfidos mineralizados.

A continuación se describe el tipo de roca encontrado en el Pórfido Sayta de acuerdo a la Clasificación petrográfica convencional. (Streckeisen, A. 1979. IUGS pp, 134, 1-14).

Toba.- Como roca piroclásticas se puede postular una toba traquítica con textura afanítica con presencia de vidrio volcánico y en trazas presenta biotita con cristales menores de 0.5mm. (ver foto n°5).

El área de emplazamiento prácticamente se encuentra en forma de grandes paquetes con espesores que van desde 50m hasta 200m de espesor, ubicados en la margen derecha del río Livitaca (Pataqueña) y hacia el sur del Proyecto que va desde el campamento hasta el caserío Lucana en pseudo estratos muy potentes.

Foto n° 5.- toba, este piroclasto se encuentra en las partes altas del proyecto, en forma de mantos.



Lapilli.- De composición polimíctica de granos entre grueso a fino, presenta básicamente clastos sub redondeados a sub angulosos de andesitas, traquiandesitas y finos flujos de ceniza y polvo volcánico como matriz de color gris blanquecino, que se presenta en el área de estudio como formaciones muy escarpadas a verticales, producto del fácil modelamiento de los ríos que cortaron este paquete.

Aglomerado.- Estos piroclastos se presentan como sombreros de composición lítica variable con clastos de dacitas, andesitas, traquitas, como una fase ulterior de la deposición de la secuencia de rocas piroclásticas, y se encuentran al sur y al norte del campamento como pequeños sombreros con espesores entre 5 a 10m.

Los clastos que componen esta roca tienen dimensiones entre 2cm- 10cm, sin embargo hay presencia de algunas rocas que superan estas dimensiones a los cuales lo hemos denominado bombas.

IV.5.- YACIMIENTOS VECINOS AL PÓRFIDO DE Cu-Mo SAYTA.

Hacia el Norte y a pocos kilómetros del pórfido se ha encontrado otro yacimiento importante que se viene desarrollando como es el pórfido de Cu-Au Yanque. Se encuentra emplazado en rocas cuarzo dioríticas que corta a las calizas de la formación ferrobamba.

Las rocas en superficie presentan moderada alteración filica, sin embargo presenta un zonamiento vertical que avanza desde la alteración potásica hasta la argílica, en el cual se han reconocido los óxidos de cobre como la crisocola.

Este pórfido tiene buenas perspectivas en cuanto a recursos y requiere mayor exploración. (Castro, E. 2008).

Los recursos inferidos del pórfido ascienden a 25Mt y requieren mayor estudio y exploración con perforación diamantina en la zona Pataqueña.

Mientras que, los depósitos tipo skarn de zinc y hierro se extienden entre las localidades de Colquamarca y Accha, siguiendo el contacto del Batolito Andahuaylas Yauri y las formaciones cretácicas.

A continuación se describe dos diferentes tipos de yacimiento reconocidos en los alrededores del proyecto Sayta: *(Ver foto n°6)*

IV.5.1.- Pórfido Cu-Au Yanque.- el pórfido Yanque se ubica en el caserío de Yanque del distrito de Colquamarca Provincia de Santo Tomás - Chumbivilcas y consiste fundamentalmente de diorita gris con fenocristales de plagioclasas y ferromagnesianos ligeramente alterado que cortan a las cuarcitas de la formación Soraya e infrayace a las calizas de la formación ferrobamba.

Las rocas calcáreas de la formación ferrobamba que sobreyacen hacia el tope de este pórfido aparecen como pequeños caparazones con un espesor promedio de 1m a 5m en forma aislada producto de la intensa erosión.

El intrusivo de tipo diorita presenta alteración argílica con evidencia de caolín y arcillas supérgena, en algunos tramos se observa moderada alteración fílica donde la sericita está presente. Los óxidos o sombreros de fierro se pueden observar débilmente debajo del caparazón calcáreo.

Las estructuras más importantes en este proyecto están formados por fallas y stockwork hacia el borde de la carretera, en donde se han tomado muestras de Cu >0.72% y Au >0.65gr Au/tm, estas leyes confirman la presencia de un pórfido que requiere mayor exploración. Las cuarcitas englobadas en forma de brechas tectónicas presentan óxidos de Fe y con buena silicificación.

El pórfido Yanque tiene un área aproximada de 700m x 600m con cobertura de calizas de la formación ferrobamba y cuarcitas de la formación soraya. Sin embargo afloran pequeñas ventanas del pórfido materia de investigación e intensa exploración a futuro. Estas ventanas tienen un área de 100m x 300m aproximadamente en algunos tramos con óxidos de Cu en superficie.

IV.5.2.- Depósito Accha.- el depósito de tipo (SEDEX) Sedimentario exhalativo Accha se ubica en el cerro Titiminas, del distrito de Accha en la provincia de Paruro y consiste de acumulaciones de óxidos de zinc como la hemimorfita, smithsonita, zincita, hidrocincita y trazas de galena y esfalerita, cuya roca hospedante lo constituyen las calizas de la formación ferrobamba.

En el área del proyecto las calizas ferrobamba se dividen en 3 niveles como son: nivel 1 que consiste de calizas chérticas cuyo espesor supera los 300m no se observa indicios de mineralización de sulfuros de zinc, nivel 2 que consiste de calizas laminares algo bituminosos con espesor de 150m en este nivel tampoco se ha observado sulfuros de zinc, salvo delgados venillas con óxidos de zinc y el nivel 3 que consiste de calizas masivas de textura esparítica, donde la mineralización se encuentra en forma de óxidos.

El ambiente de formación de este depósitos básicamente los constituye la falta de oxígeno (ambientes euxínicos y anaeróbicos) intracuenca con presencia de sulfuros de plomo y zinc en forma intercalada, en donde algunos tramos reconocidos forman pequeñas texturas bandeadas y forma de lentes tabulares. Teniendo un espesor aproximado de 150 metros y puede ser distribuido a través de un intervalo estratigráfico en todo el ancho con intervalo entre cada lente de 5 a 25m, que permite estimar los recursos.

Los estratos calcáreos toman el nombre de Formación Arcurquina en Apurímac, sin embargo se pueden correlacionar con la formación

ferrobamba, y se le asigna edad entre el Albiano al Coniaciano (Cretácico Medio), el ancho es de aproximadamente 350 metros, la superposición de limolitas y lutitas de la formación Huancané (bajo cretácico) e infrayace en disconformidad con el conglomerado del Grupo Puno (paleógeno).

La explotación de estos óxidos de zinc reconocidos se prevé a tajo abierto por que se encuentran aflorando en superficie. (E. Castro M 2008).

El yacimiento de Zn y Pb Accha se encuentra en estado de exploración y es un depósito con recursos de más de 8 millones de toneladas de óxidos de zinc con un sub producto de plomo que le incrementa el valor agregado.

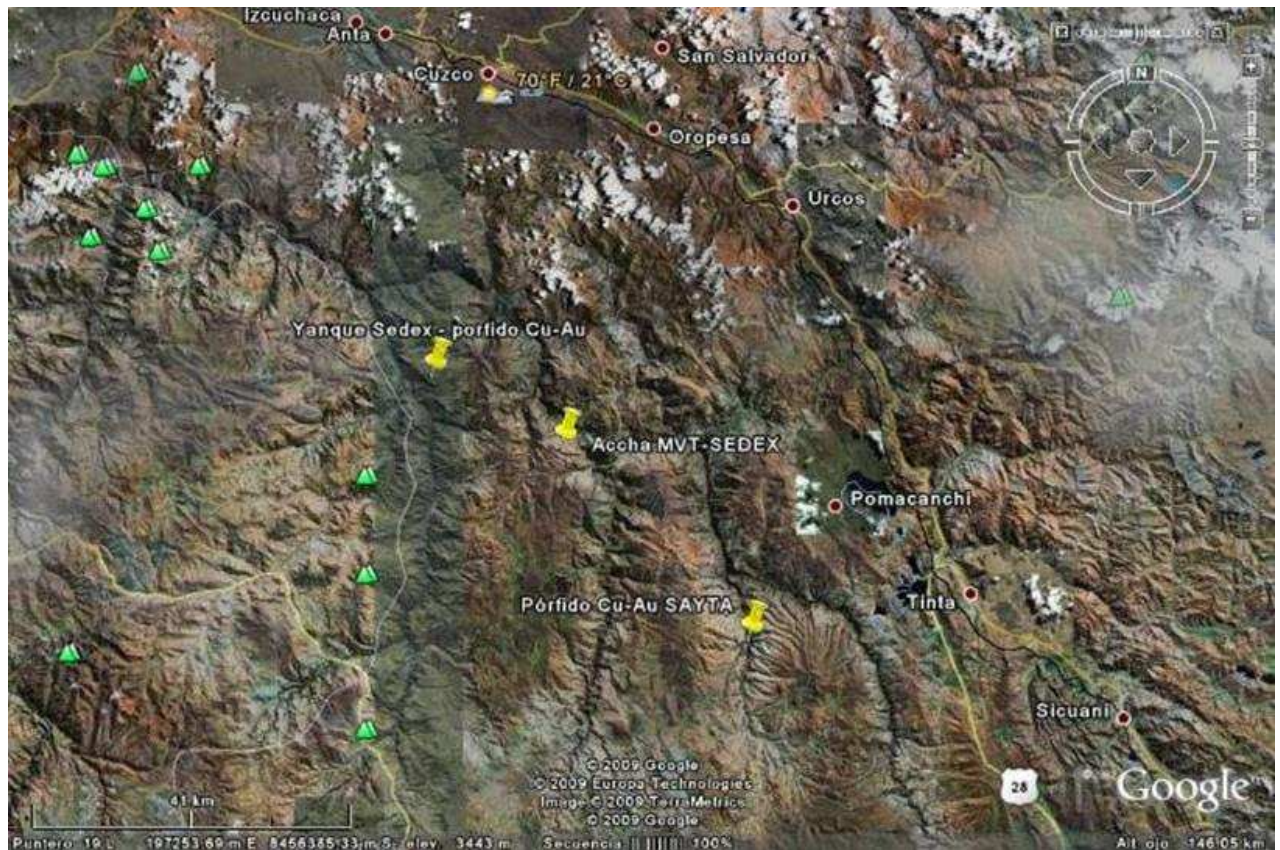


Foto n° 6.- vista aérea de los diferentes sistemas mineralizados emplazados en el Batolito Andahuaylas-Yauri, obsérvese el Pórfido Sayta al sur, luego al NW el Pórfido Yanque.

CAPÍTULO V

RASGOS GEOLÓGICOS DEL PÓRFIDO SAYTA

V.1.- MARCO GEOLÓGICO

El marco geológico local de proyecto está conformado por la presencia de una secuencia de volcánicos piroclásticos que consiste de una gradación granulométrica desde bombas, lapilli y cenizas de composición traquítica, ligeramente alterado con presencia de alunita y dickita.

Este paquete volcánico reciente, sobreyacen inmediatamente en forma discordante a las cuarcitas intercaladas con finas capas de lutitas pizarrosas negruzcas de la Formación Huintuyo de edad cretácica. (Stefanie Weise, 1997. PD Dr. Th Seifert).

Mientras que el stock porfirítico de diferente composición mineralógica intruyen todo el paquete sedimentario dejando bloques colgados de cuarcitas, las rocas de este pórfido consiste de monzonita, andesitas, dacitas y granodiorita como pequeños remanentes del complejo Yauri Andahuaylas.

Dentro del contexto geológico local se puede definir al proyecto Sayta como un Pórfido de Cu-Mo-Au caracterizado básicamente por minerales encontrados durante el proceso de toma de muestras y las anomalías geoquímicas reportados durante los ensayos. Los minerales de Cu y Mo se pueden observar fácilmente en afloramiento tanto en las cuarcitas como en el pórfido traqui-andesítico (monzonita?) a lo largo del río Livitaca, y minerales oxidados de cobre como calcantita, crisocola, malaquita y neotocita en las cuarcitas hacia el río Chullumayo.

En el siguiente mapa geológico del proyecto se observa una representación gráfica de los afloramientos de rocas intrusivas, sedimentarias y volcánicas, y luego se presenta una sección conceptual idealizada. *(Ver figuras n° 10 y n°11)*

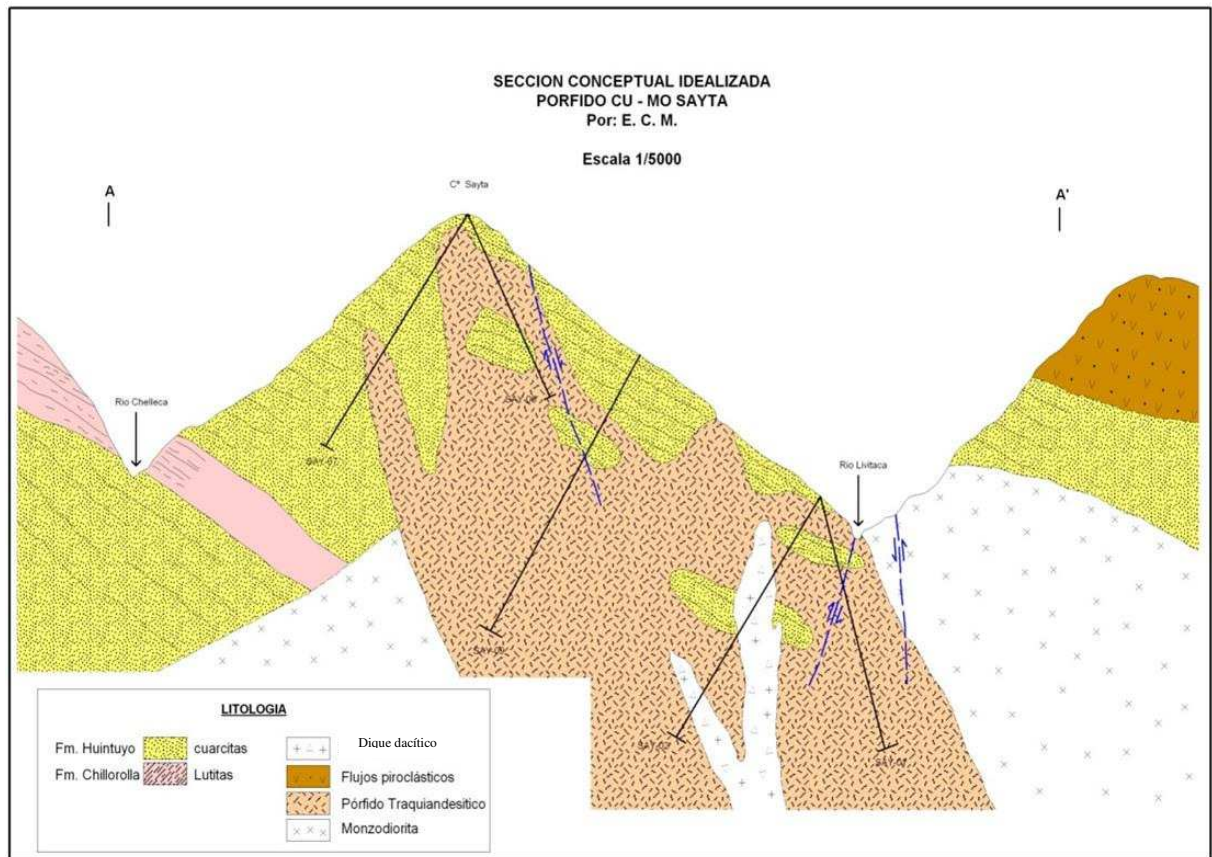


Figura n° 11. - sección geológica conceptual del pórfido Sayta, propuesta con 6 sondajes. (E. Castro 2008).

En cuanto a la zonación de la mineralización se ha reconocido un zonamiento vertical típico de los pórfidos, empezando por los óxidos que consisten en malaquita, azurita, calcantita, neotocita.

Descendiendo en el nivel del sistema se ha reconocido una zona mixta que consiste en minerales con calcosina y covelina como halos bordeando la calcopirita en los bordes del río Livitaca.

La zona hipógena está determinada por la presencia de sulfuros primarios que consiste de calcopirita, molibdenita, esta zona básicamente se encuentra expuesta a lo largo del río Livitaca con fuerte alteración potásica y débil sobreimpresión de alteración fílica y tramos con stockwork.

Por otro lado la presencia de óxidos como patinas en las cuarcitas nos indican la lixiviación de sulfuros como la pirita, estas manchas rojizas se observa hacia el lado sur de la plataforma SAY-03.

El yacimiento mineralizado denominado Pórfido Sayta emplazado en rocas hipabisales de tipo traqui-andesita se encuentra cubierto en muchas zonas por cuarcitas de edad cretáceo inferior; el afloramiento principal del pórfido traqui-andesítico se puede encontrar a lo largo del río Livitaca.

El mapeo geológico en la quebrada Livitaca ubicado al este del Cerro Sayta en épocas de estiaje, muestran afloramientos de venillas de molibdeno y calcopirita en forma de stockwork, que han permitido el descubrimiento de este importante depósito. (Ver fotos n° 7 y n°8).

Se debe señalar en primer lugar que, la topografía es accidentada en un 80% y presenta escarpas profundas y sub verticales con saltos de hasta 100m y que dificultan el tránsito de las personas, sin embargo se están construyendo accesos para el tráfico normal tanto de acémilas y las personas haciendo más fácil el reconocimiento y evaluación del depósito mineralizado.

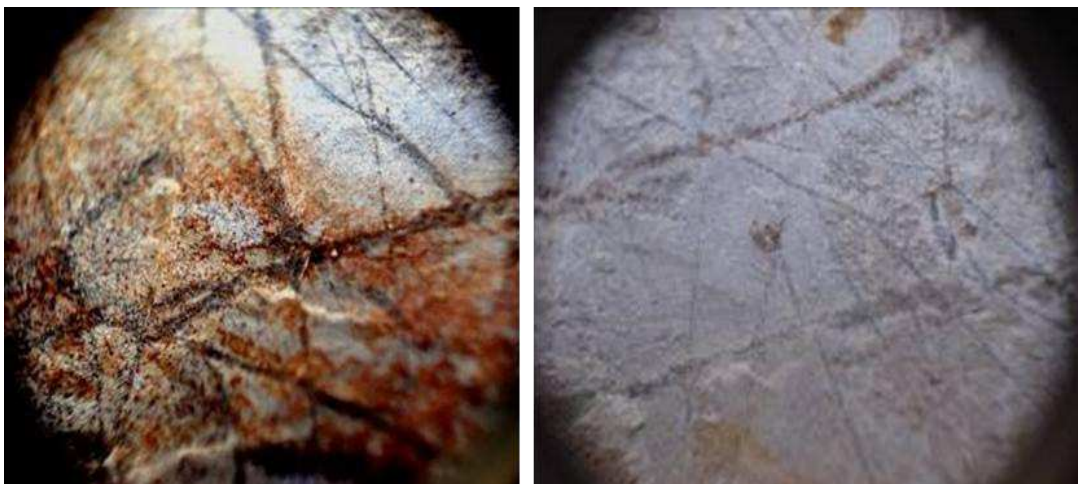


Foto n°7, n° 8.- También se han reconocido varias zonas de stockwork en el pórfido con venillas de cuarzo delgado seco sin sulfuros, salvo pequeños erráticos con limonitas cuyos óxidos son menores a 1%. Sin embargo en muchos tramos de la cuarcita la presencia de venillas de cuarzo es importante en la migración de sulfuros de cobre.

La alteración predominante en toda la columna desde el tope del pórfido hasta el río Livitaca predomina básicamente la alteración fílica con intensidad que va desde moderado a fuerte. (Ver foto n°9)

En algunas muestras recogidas en los alrededores del río Livitaca se ha identificado sericita verde que pueden confundirse fácilmente con débil coloración de la malaquita y clorita, sin embargo esta sericita verde es algo nacarado a perlado y graso.

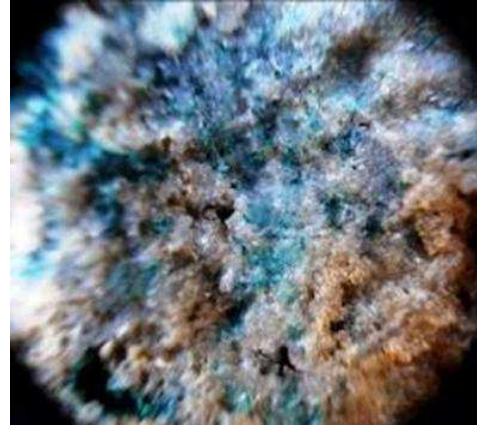


Foto n° 9 .- Alt. Fílica se puede observar la destrucción de los feldespatos y reemplazado por la sericita

El protolito del pórfido es una roca hipabisal gris blanquecina que consiste de una traquita porfirítica con fenocristales de plagioclasa que representa hasta un 70% englobado dentro de una matriz afanítica en donde la presencia de ferro-magnesianos ha sido destruida por la alteración potásica y reemplazada por alteración fílica.

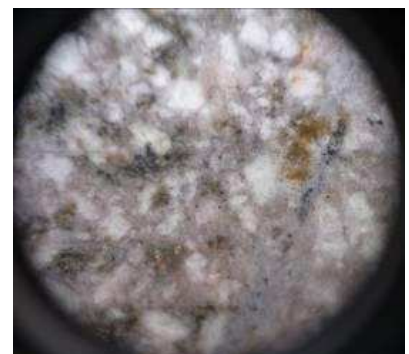
Los fenocristales de plagioclasas tienen tamaños que varían de 1mm hasta 3mm, la presencia del cuarzo es muy escasa, sin embargo en algunos tramos se pueden encontrar aislados ojos de cuarzo menor a 5%. A esta roca en el mapeo inicial se le ha llamado pórfido feldespato.

La presencia de ortoclasa en el pórfido pertenece a la alteración potásica que se presenta en venillas tipo "A" y reemplazando a la matriz, y no forma parte de la composición mineral del pórfido andesítico. (Ver foto n° 10 y n°11)



Foto n°10 (izq.).- alt potásica con biotita sec, reemplazando máficos, con Vn de ortosa, y relleno de Mol.

Foto n° 11 (der).- alt. Potásica con feldespato potásico en matriz.



El área de afloramiento expuesto e inferido de alteración fílica abarca más de 900m x 600m tanto en las andesitas como en las cuarcitas, además se han encontrados venillas de cuarzo hialino en forma de stockwork débil sin sulfuros. Las fallas regionales y locales forman parte de los eventos de intenso tectonismo en el cual se reconocen sistemas tipo graben y horst.

Estas evidencias se pueden reconocer por el intenso craquelamiento de las cuarcitas Soraya en donde aparentemente la estratificación se hace sub vertical como el caso de la plataforma SAY-02 que tiene un buzamiento de 70° en el río Livitaca, sin embargo el rumbo y buzamiento regional es N330°,30°E que se puede observar en el lado del río Chullumayo.

V.2.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Siguiendo un plan de mapeo se ha establecido en el campo estaciones estructurales para definir tendencia y esfuerzos de las diferentes estructuras enumeradas en el índice como fallas, fracturas y venillas.

La interpretación de estos datos se han graficado de acuerdo a un software denominado DIPS, que los ha ayudado en la representación gráfica de todos los datos obtenidos en campo.

Estructuralmente el proyecto Sayta es un complejo tectónico local, cortado por múltiples fallas conjugadas y paralelas, cortadas por una falla regional (falla livitaca) emplazadas posterior a la mineralización y alteración, lo que ha generado una erosión juvenil de este río y ha puesto en evidencia el afloramiento de minerales hipógenos.

El pórfido Cu-Mo de Sayta estructuralmente se comporta como un horst, producto del juego de fallas Livitaca y Millohuaycco. Este Horst ha puesto en evidencia la mineralización y alteración en zonación vertical.

Si observamos a través del orto foto podemos determinar que el pórfido es un gran cuerpo lenticular está emplazado dentro de un gran complejo estructural, y que en el cerro Sayta lugar donde se concentra la actividad exploratoria es solo una pequeña ventana.

La mineralización en esta ventana básicamente se concentra en las fallas de dilatación E-W, los que han preparado la roca para el emplazamiento de la mineralización del pórfido.

V.2.1.- Fallas.- A lo largo del río Livitaca se observa juegos (fallas de empuje) con tendencia N-S asociado a una falla regional por donde se emplaza este río, que ha formado grandes escarpas sub verticales con saltos de hasta 50m, esto se ha comprobado tanto en las imágenes de la orto-foto como en el reconocimiento de campo.

Otra falla de importancia que aparentemente limita el pórfido sería el emplazamiento de esta falla en el río Chullumayo que finalmente se une con la falla Livitaca hacia el norte del pórfido. *(Ver plano geológico figura n° 10).*

Fallas menores de dilatación en el pórfido con tendencia E-W se puede observar en el plano geológico, estas fallas menores también han sido portadores de mineralización y han producido intenso craquelamiento en las cuarcitas.

V.2.2.- Stockwork y venillas.- Ambos márgenes del río Livitaca afloran el pórfido tipo Traqui andesita con características muy importantes que estructuralmente está relacionado a la presencia de venillas y stockwork, que aflora en un trend N350° a N-S, las dimensiones de afloramiento pueden ser mayores de 150m, básicamente asociados a la falla Livitaca, que sospechamos sería el feeder de la mineralización y posterior venilleo en el pórfido.

En las cuarcitas no se ha reconocido venillas de cuarzo, básicamente está concentrado en el intrusivo, sin embargo se observa diseminación y venillas de sulfuros secundarios que justifican leyes de cobre en cuarcitas. (Ver foto n° 12)

Foto n° 12.- en esta foto se observa la presencia de stockwork débil con venillas de cuarzo cortando a las cuarcitas y venillas de calcosina como consecuencia del enriquecimiento secundario de la calcopirita.



Las venillas en el pórfido traqui-andesítico son de Tipo "A", "B" y "D", caracterizándose por su composición mineralógica, como sigue: (ver fig. n°12)

Venillas tipo "A".- se ha reconocido estas venillas por su composición de ortosa, cuarzo y calcopirita, con halos de alteración potásica en el pórfido traquiandesítico con trazas de Mo, las venillas tienen entre 0.5 a 25mm. (Ver foto n°13)

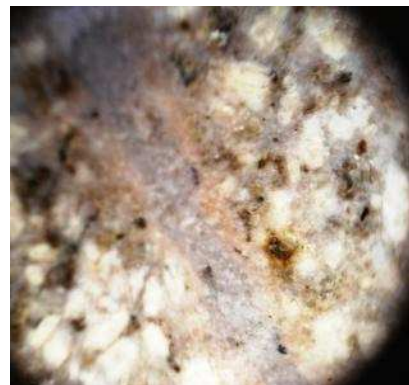


Foto n° 13.- Venilla tipo A en el pórfido traquiandesítico. Aquí se observa venillas de ortosa y biotita secundaria fina, el ancho promedio de la venilla es 2mm.

Venillas tipo "B".- su composición está formado por qtz y al centro Cpy, Mo y Py en venillas continuas, se reconoce también cuarzo en el centro de la venilla, al ser posteriores cortan comúnmente a las venillas tipo A. (Ver foto n° 14)



Foto n° 14.- Cpy + Mo asociado a Vn de Qz.



Foto n° 15.- Vn de Qz sericita en cuarcita

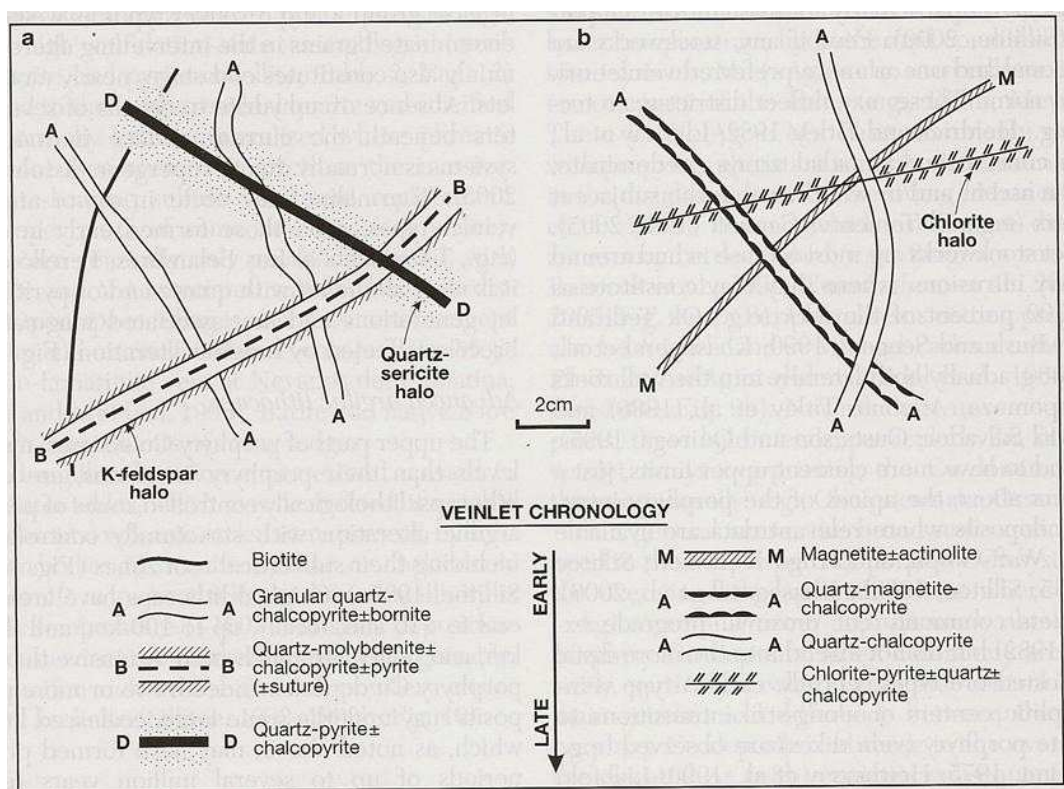


Figura n° 12.- en este cuadro se puede mostrar la cronología de la secuencia de las venillas en un pórfido de Cu-Mo. Por Lang et al 1995, Sillitoe 2000-2002.

Las fallas locales controlan la mineralización del pórfido hacia el lado norte del proyecto, cerca de la intersección de los ríos Livitaca y Chullumayo; mientras que a lo largo la falla regional se emplaza el río Livitaca. (ver fotos n°16, n° 17).

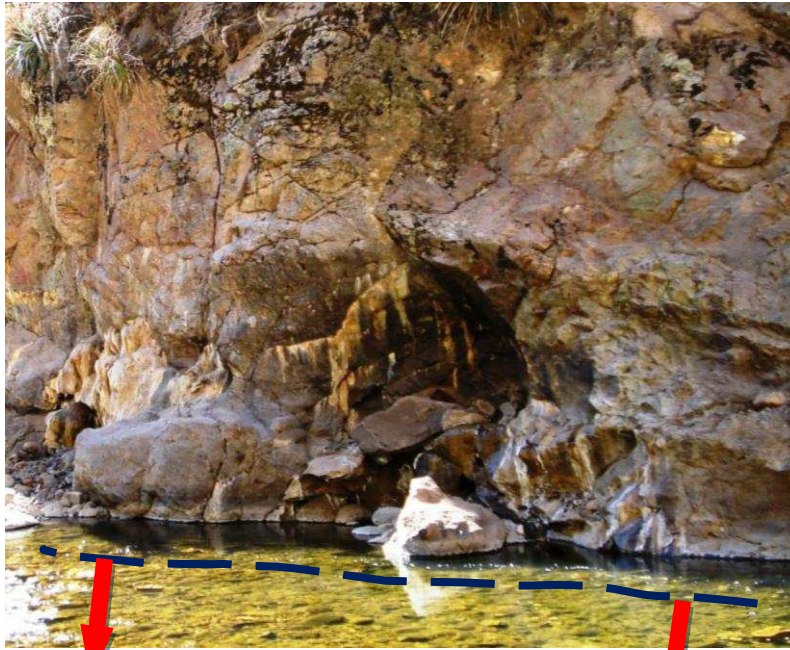


Foto n° 16.- la infiltración de las aguas superficiales o napas a lo largo de la falla livitaca juega un papel importante en el incremento de la alteración supérgena, la hidratación de los componentes minerales del pórfido se produce la argilización supérgena. Aquí se ha reconocido sulfuros primarios *★* calcopirita, molibdenita y bornita) y en sulfuros secundarios como: calcosina, covelina). (falla inferida línea azul).



Foto n° 17.- en el río Livitaca se ha observado la presencia de burbujas que se infiltran a lo largo de la falla regional que corta el pórfido. Esta observación es una evidencia clara de la infiltración, a lo largo de la falla, lo que indica que continúa la lixiviación y alteración retrograda de la argilización y oxidación de minerales.



Por otro lado también se ha reconocido en un tramo de este río que recorre por la falla la presencia de aguas termales con precipitación de carbonatos (estalactitas) y gases carbónicos que ocasionan permanente disolución de las rocas carbonatadas. (Ver foto n°18)

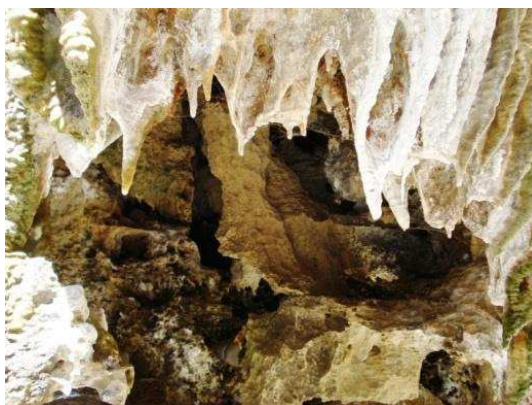


Foto n° 18.- formación de estalactitas en como consecuencia de la presencia constante de filtraciones de las aguas termales presentes a lo largo del río Livitaca.

V.2.3.- Planeamiento e identificación de estaciones estructurales.-

Se han ubicado 9 estaciones estructurales (EE) en todo el proyecto, lo que

incluyen datos de fallas, fracturas y venillas con la finalidad de definir el comportamiento de los esfuerzos y la posibilidad de migración de la mineralización en las en la roca hospedante. (Ver fotos n°19, 20, 21)

En los bordes del río Livitaca continúa la lixiviación de los sulfuros primarios, aquí se han reconocido calcosina, covelina como halos de la calcopirita y con presentación tipo hair line de calcosina y calcopirita y presencia de sulfuros secundarios como halos de la calcopirita.



Foto n°19.- Ubicación de varias estaciones estructurales para conocer los esfuerzos que dieron origen al fracturamiento en las areniscas y cuarcitas, lado sur del pórfido Sayta Quebrada Chellecca, mirando al NW, las cuarcitas sobreyacen al pórfido andesítico, con buena proporción de óxidos de cobre, la presencia de fallas y eventos tectónicos juega un papel importante en la alteración hidrotermal y posterior mineralización de cobre.



Foto n° 20.- (izq).- permanente lixiviación e intenso Fracturamiento en el pórfido traquiandesítico, Ubicado al borde del río Livitaca.



Foto n° 21.- calcantina como pántinas en las paredes del pórfido traquiandesítico en el borde del río Livitaca.

El pórfido traqui andesítico está delimitado hacia la parte norte por una falla local E-W que pone en contacto las cuarcitas Soraya que tiene una potencia aproximada de 150m, hacia el oeste está limitado por la río Chullumayo que recorre también una falla SW-NE que también pone en contacto el pórfido con las cuarcitas Soraya.

Mientras que hacia el lado este el pórfido infrayace a un paquete de piroclastos que se depositaron en la paleo superficie de topografía irregular.

El paquete de piroclastos consiste básicamente de lapilli, ash que se observa hacia el oeste del río Livitaca y en la zona del helipuerto tiene una potencia de 70m aproximadamente, mientras que en la lado este del río Livitaca (zona de Pataqueña) el paquete de piroclastos se incrementa en grosor, se sospecha una proyección de más 150m que cubre todo el pórfido andesítico.

Hacia el sur el afloramiento del pórfido está abierto pero se encuentra cubierto por un paquete de piroclastos con más de 120m de potencia. (Ver plano geológico, figuras n° 10, n° 11).

De acuerdo a la forma del cuerpo observado en el plano aparentemente tiene una forma elipsoidal que infrayace en el lado este y sur del río Livitaca a un paquete de piroclastos, mientras que hacia el lado oeste de este río, infrayace a cuarcitas de la formación huintuyo.

Se puede estimar un volumen aproximado de 600MTm de mineral con un cut off de 0.45% y ley minable hasta 0.7% con Cu equivalente de Mo de 0.85%.

V.2.4.- Registro de datos.- Durante la interpretación del yacimiento se han ubicado estaciones estructurales con la finalidad de identificar los esfuerzos principales y la fuente de mineralización, estos datos se ubicaron en zonas con intenso tectonismo, a los cuales se ha denominado EE (estación estructural).

Para el registro de estos datos se ha tomado la dirección y buzamiento de las diferentes estructuras como fallas, fracturas, venillas, diques, etc.

Las venillas y micro venillas de cuarzo y pirita tienen una tendencia local N45 que forman un segundo trend estructural local asociado al movimiento de esfuerzo secundario y que han posibilitado una migración de los minerales de cobre. (Ver foto n° 22)

Los mantos de pizarras y lutitas han servido de trampas de mineralización y en algunos por efecto del fuerte evento tectónico han permitido el paso de soluciones mineralizantes y aguas magmáticas que han generado fases de alteración hidrotermal.

Foto n° 22 (derecha).- stockwork en el pórfido traquiandesítico, se observa claramente las venillas de cuarzo de 2 fases de venilleo. La roca presenta alteración fílica moderada, débil mineralización de cpy y molibdenita (foto tomado en el río Livitaca).



Zona de stockwork
aflorando en el río Livitaca



V.3.- BRECHAS

V.3.1.- Brecha intrusiva (Ibx).-

Durante el reconocimiento geológico de superficie no se ha reconocido brechas intrusivas, sin embargo en varios tramos de logueo geológico estructural de los sondajes se ha reconocido brechas intrusivas. (Ver foto n°23)



foto n° 23.- Brecha Intrusiva Ibx

Su composición básicamente son polilíticos englobados en una matriz intrusiva de tipo pórfido traqui-andesita, con buena presencia de sulfuros y alteración fílica predominantemente que se ha sobre impuesto a una alteración potásica.

V.3.2.- Brecha hidrotermal (Hbx).- Estas brechas consisten básicamente de clastos de cuarcitas y andesitas básicamente englobados en un matriz de sulfuros y en algunos pequeños tramos con matriz de cuarzo y óxidos. (Ver foto n°24)

Los tramos de brecha hidrotermal aportaron muy buenas leyes de mineral tanto de cobre como de molibdeno.



Foto n° 24- brecha hidrotermal, matriz de cpy en cuarcitas, Hbx

No se ha identificado en afloramiento debido a la cobertura por suelos coluviales que se observan en todas las áreas de ladera. Sin embargo en pequeños tramos de ciertos sondajes se han identificado estas brechas que han servido al enriquecimiento de la mineralización del pórfido

V.3.3.- Brecha tectónica (Tbx) .- Los diferentes eventos de tectonismo reconocidos en campo y en los sondeos han producido en las cuarcitas y pórfido andesítico grandes tramos de brechas tectónicas con fuerte craquelamiento y asociados a fallas. *(ver foto n°25)*

Prácticamente la matriz de estas brechas son arcillas o panizo, mientras los clastos son angulosos y orientados, sin embargo en las zonas de craquelamiento se ha reconocido infiltración de sulfuros u óxidos de Fe (limonitas) y manganeso.



Foto n° 25.- brecha tectónica (Tbx) en cuarcitas.

CAPITULO VI INTERPRETACION DE DATOS GEOLÓGICOS

VI.1.- INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS GEOQUÍMICOS

La geoquímica de exploración no localiza directamente los yacimientos, pero es una herramienta de apoyo suficiente para indicar las anomalías en concentraciones de elementos guía.

Las tablas del Strater (tablas n° 1, n°2 y n°3) explican la relación que existe entre los valores de cobre y molibdeno, plata, zinc y plomo obtenidos durante los ensayos de laboratorio.

Esta tabla muestra 5 columnas verticales que representan:

Columna 1.- Litología, que corresponde a los tipos de roca encontrados durante la perforación. Se puede observar de color amarillo a las areniscas y cuarcitas de la formación Huintuyo, las rocas de color verde representan al pórfido traquiandesítico y las de color anaranjado representan a las distintas brechas.

Columna 2.- se observa los tipos de alteración por tramos identificados con diferentes colores de acuerdo al protocolo establecido para el depósito, Se observa que las cuarcitas no presentan alteración hidrotermal, sólo asociados a las fracturas y zonas de falla, predominando la alteración fílica, luego débil silicificación.

Columna 3.- algunos tramos presentan estructuras como fallas, fracturas, venillas, stockwork que han sido graficados, tiene como fin principal la identificación de los tramos que luego pueden ser correlacionados con el mapeo geológico de campo.

Columnas 4, 5, 6, 7, 8 y 9.- se demuestran los resultados obtenidos con los análisis químicos de laboratorio, empezando por el Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn Cada uno de ellos ha sido graficado con su respectiva ley. Los datos del histograma horizontal donde se grafican con colores varían desde el celeste hasta el rojo, en donde las leyes más bajas se representan con el color celeste y las leyes más altas con el color rojo.

Los resultados de los ensayos demuestran que las areniscas y cuarcitas en algunos tramos presentan leyes de cobre y molibdeno muy importantes que sobrepasan un cutt off de 0.5% de Cu y 800ppm de Mo, en tanto que en la plata y los otros minerales son erráticos y menos rentables.

La información obtenida de campo y los resultados analíticos de las muestras, inicialmente se clasifican visualmente y después es graficada en las tablas del Strater, los cuales pueden revelar las anomalías obvias o analizar su correspondencia con falsas anomalías. *(Ver tablas n° 1,2,3).*

En la interpretación de datos geoquímicos, es fundamental la preparación de mapas de isovalores, diagramas y el establecimiento de los valores del Límite mínimo y promedio (background, threshold), correlación de Pearson y otras técnicas que ayudan al entendimiento de área de investigación.

Los datos geoquímicos obtenidos de los estudios de sedimentos de arroyo, de los suelos ayudan significativamente al entendimiento de la presencia de los elementos minerales para cada tipo de yacimiento, en este caso ha servido de apoyo para identificar el pórfido.

Fueron analizadas 872 muestras de roca por ICP-AES (Induced Coupled Plasma Atomic Emisión Spectrometry), para 34 elementos, con digestión por Agua Regia. Estas muestras fueron preparadas y analizadas por el laboratorio ALS Chemex. Los resultados geoquímicos ayudaron a definir la ubicación y concentración de las anomalías de cobre y molibdeno, tanto en las rocas como en los suelos, lo que se diseñó un plan de perforación en concordancia con los resultados de geofísica.

La zona de estudio presenta una gran cantidad de litologías y alteraciones diferentes. El muestreo ha servido para determinar los contenidos geoquímicos de elementos de esas unidades, teniendo en cuenta la relación espacial y el tipo de alteración que ellas presentan.

VI.2.- INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS GEOFÍSICOS

Durante la medición del campo magnético en el pórfido la respuesta geofísica ha servido para la delimitación de los halos de alteración potásica y la presencia de estructuras como las fracturas, fallas y napas freáticas. Los métodos utilizados en el reconocimiento y delimitación del pórfido Sayta han tenido una buena respuesta geofísica en concordancia con los resultados del muestreo geoquímico llevados a cabo en la etapa de prospección.

La cargabilidad alta obtenida durante la interpretación de los datos de campo es fiel reflejo de la presencia de sulfuros primarios presentes en el proyecto. Mientras que la resistividad baja ofrecida por las rocas se debió principalmente a la presencia de arcillas y sericita con poco o nada sílice y cuarzo. Para el estudio geofísico se elaboró 10 líneas de 1.8km de longitud separada una de otra por 100m y los puntos tomados fueron cada 50m,

haciendo un total de 18km de medición cuyos resultados han facilitado la interpretación geofísica en gabinete. *(No se tiene permiso de publicación de los planos)*

VI.3.- INTERPRETACIÓN DEL STRATER

Observando las tablas se puede observar 3 partes:

Encabezado- aquí se describe todas las partes del collar del sondajes, como son : Azimut, coordenadas UTM, elevación, inclinación, profundidad, y el número del pozo; **Cuerpo**- en esta parte se observa la información completa del testigo como es: tipo de roca, alteración, estructuras reconocidas, mineralización, zonación y los resultados de los ensayos. **Pie de página**- finalmente en esta parte se describe la clave utilizado en el cuerpo del Strater. *(Ver tablas n°1, n°2, n°3).*

En el análisis del cuerpo de este gráfico se puede observar que las areniscas y cuarcitas presentan valores de Cobre muy importantes que justifican el trabajo de investigación en donde los valores de cobre superan el 3000ppm Cu, mientras que para el Mo ha sido un background de 200ppm, en tanto que para el oro se obtuvo un background de 0.25gr Au/tm; esto implica que las soluciones minerales presentes tanto en las areniscas, cuarcitas y la traquiandesita han migrado siguiendo patrones estructurales como las micro venillas y micro fracturas.

En la zona de brechas la concentración de minerales de cobre es buena, particularmente en la zona de enriquecimiento secundario, lo que implica que los sulfuros tanto de cobre y molibdeno presentes en la matriz de la brecha han sido consecuencia directa del transporte de las soluciones dentro de estas zonas de debilidad tectónica.

El manejo del Strater es una técnica de gabinete que ayudó considerablemente en la interpretación visual y gráfica de los elementos químicos y con ella se pudo realizar el diagnóstico de la concentración de minerales en los respectivos sondajes.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
UNIDAD DE POSTGRADO TESIS DE MAESTRIA

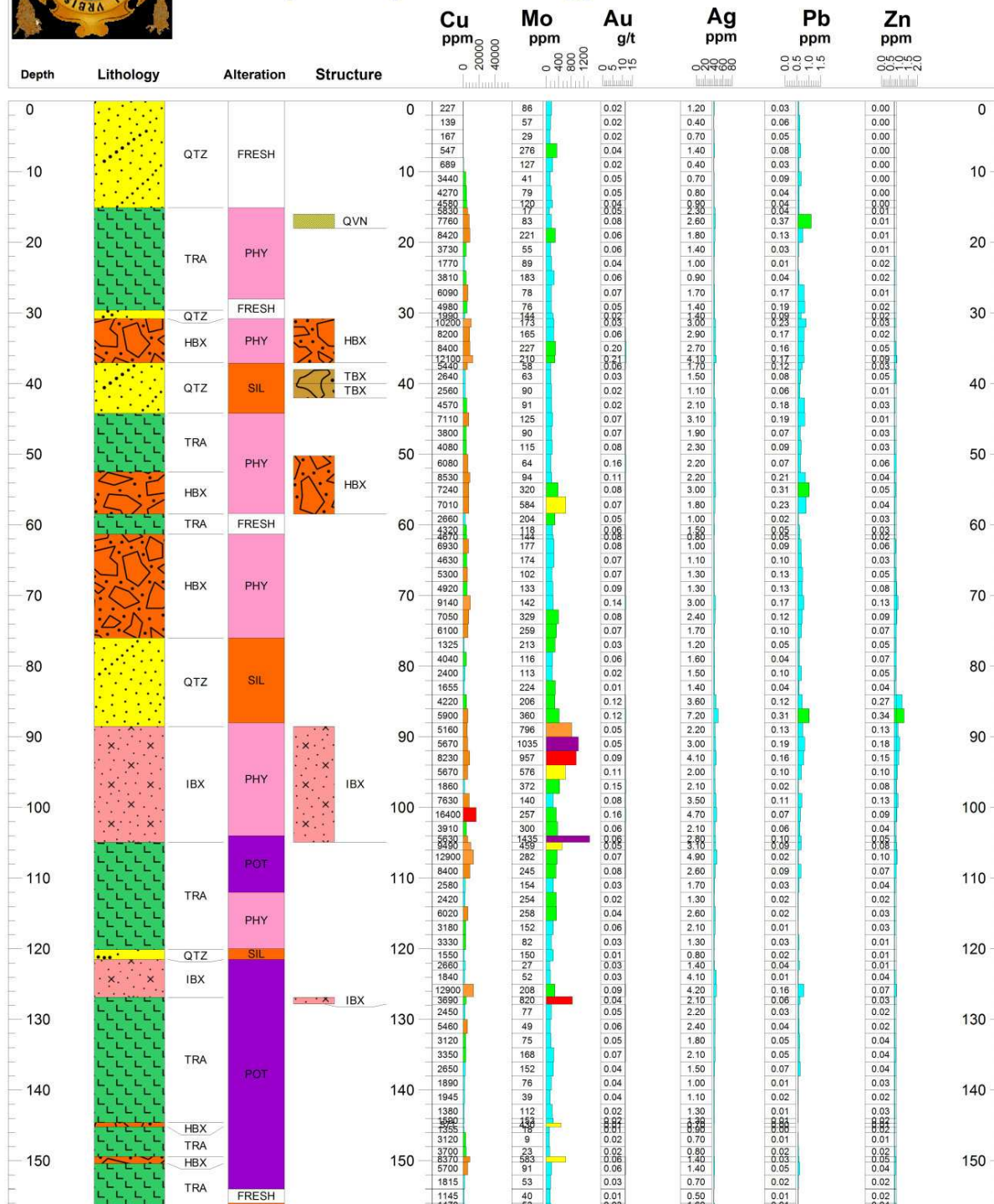
SAYTA PORPHYRY CU - MO PROJECT

HOLE ID

Easting: 211434 Northing: 8428926 Elevation: 3458.68

SAY-02

Depth: 310 Dip: -60 Az: 270 Logger: EC-JQ Driller: Bradley Co.



Key: **Lithology:** Qtz-quartz, TRA-traquite, HBX-hydrobreccia, IBX-intrusive breccia, VBX-volcanic breccia, TBX-tectonic breccia, AND-andesite, CYS- clay and siltstone, SO-soil.
Alteration: POT- potassic, ARG- argillic, PHY-phillic, SIL-silicified, PRO-propylitic, FRESH- without alteration.
Structure: FL-fault, DYT- traquitic dyke, QVN- quartz vein, PYV- pyrite vein, CPYVN- chalcopirite vein, DAN-andesite dyke, CBX- crackle breccia, CTBX-contact breccia

by: ECM 2012

Tabla n°1.- se utilizó el software Strater para demostrar las leyes de Cu en cuarcitas



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
UNIDAD DE POSTGRADO TESIS DE MAESTRIA

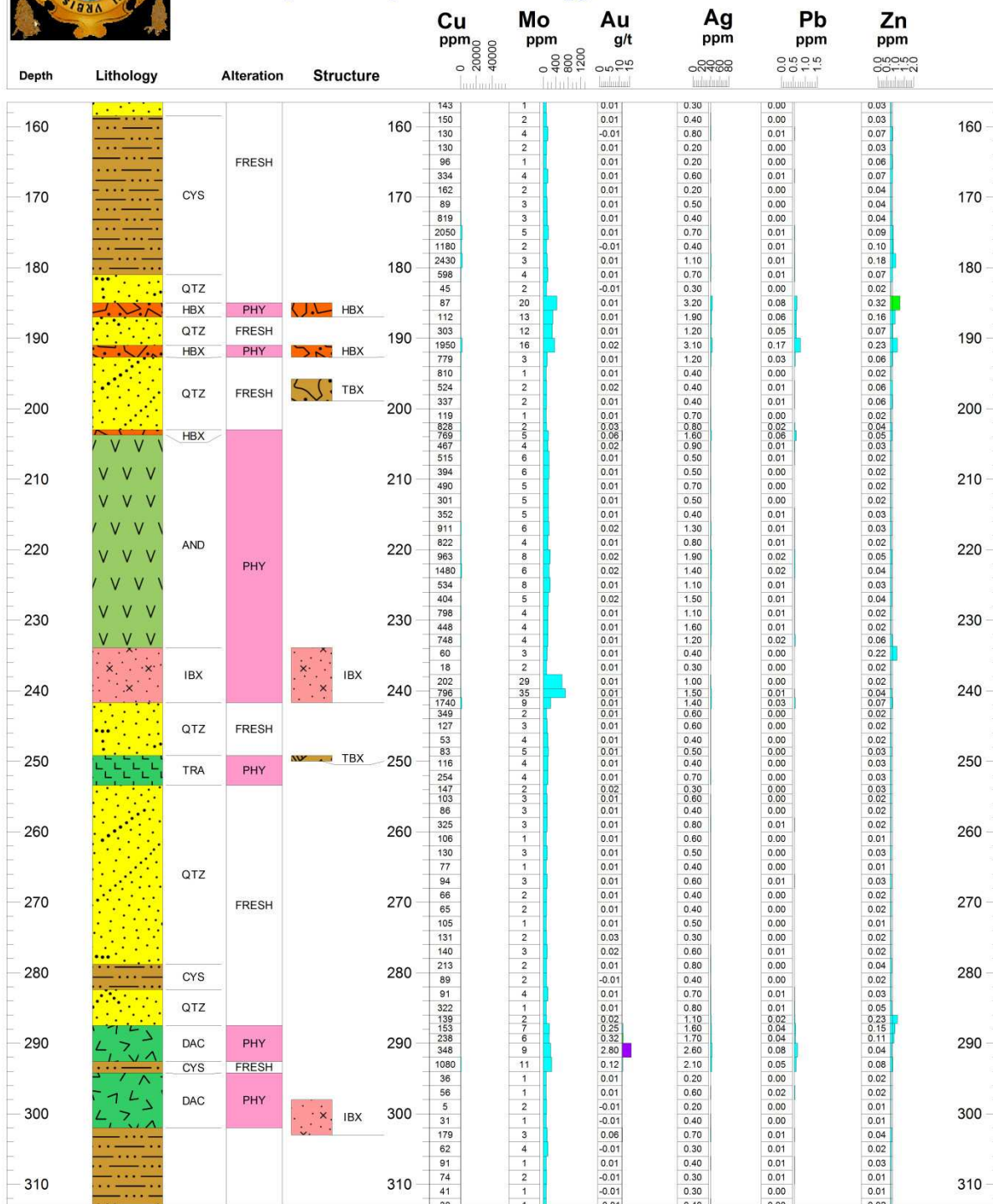
SAYTA PORPHYRY CU - MO PROJECT

Easting: 211040 Northing: 8428931 Elevation: 3706

Depth: 350 Dip: -60 Az: 270 Logger: JQ Driller: Bradley Co.

HOLE ID

SAY-07



Key: Lithology: Qtz-quartz, TRA-traquite, HBX-hydrobreccia, IBX-intrusive breccia, VBX-volcanic breccia, TBX-tectonic breccia, AND-andesite, CYS- clay and silstone, SO-soil.

Alteration: POT- potassic, ARG- argillic, PHY-phillie, SIL-silicified, PRO-propylitic, FRESH- without alteration.

Structure: FL-fault, DYT- traquitic dyke, QVN- quartz vein, PYV- pyrite vein, CPYVN- chalcopyrite vein, DAN-andesite dyke, CBX- crackle breccia, CTBX-contact breccia

by: ECM 2012

Tabla n°3.-Correlación geoquímica de leyes de Cu en cuarcitas de la Fm. Huintuyo.(strater)

VI.4.- INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL

De acuerdo a los resultado del análisis estructural se deducen que los esfuerzos principales tienen una tendencia E-W, como consecuencia de ella han generado desplazamiento de bloques N-S y fallas conjugadas cuyo comportamiento nos induce a deducir que las aberturas generadas en las micro fallas han permitido la migración de aguas meteóricas para formar el enriquecimiento secundario de la calcopirita y formar la calcosina.

Para la interpretación de los datos estructurales se ha utilizado el software Dips, que ayudó y puso en evidencia las tendencias principales de los esfuerzos. (Ver resultados en las figuras n° 13,14,15,16,17,18,19,20 y 21)

A continuación presentamos los Resultados de las Estaciones estructurales mostrando los esfuerzos y su distribución polar, desarrollado mediante el DIPs (software muy común de los exploradores).

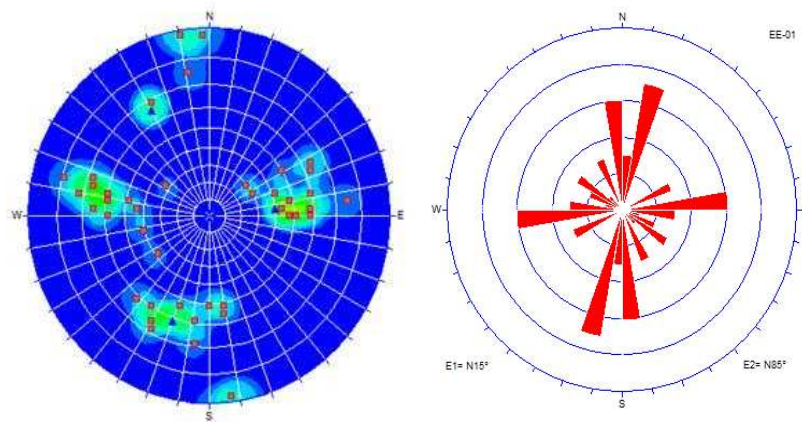


Figura n° 13.- (EE 01)
Intenso fracturamiento en la cuarzitas en el cual los óxidos se encuentran alojados como pátinas y venillas la distribución de esfuerzos es homogénea, refleja la tenacidad y compacidad de la roca.

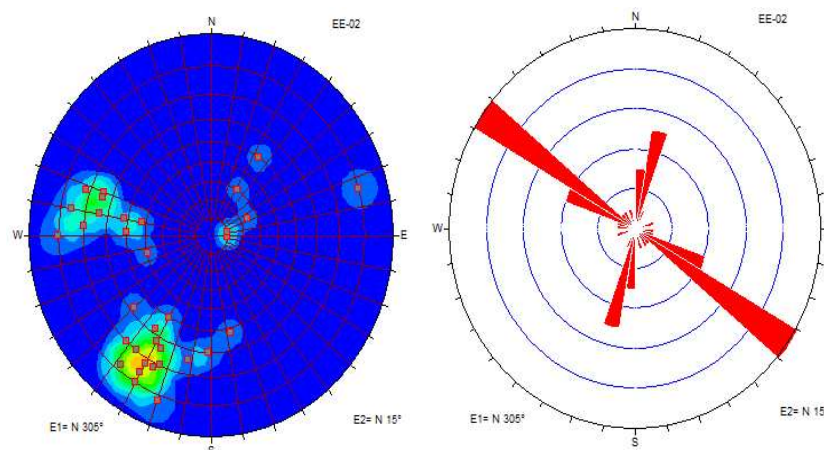


Figura n° 14.- (EE 02)
La tendencia de la limonita relleno de fracturas es N305°.

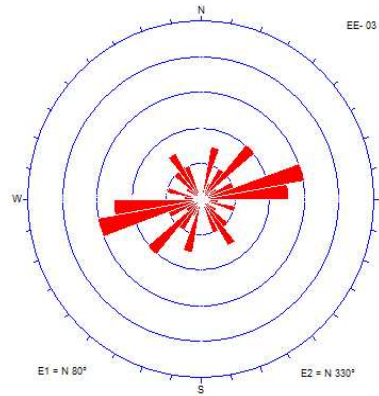
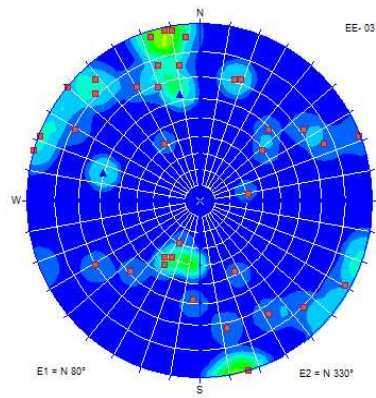


Figura n° 15.- (EE 03) Tendencia de los esfuerzos en fracturas es N 70°.

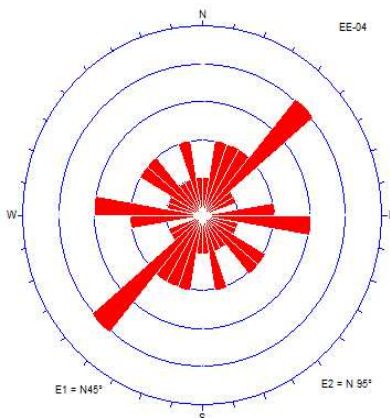
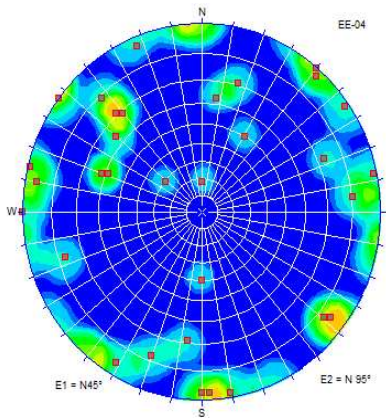


Figura n° 16.- (EE 04) Distribución homogénea del stock work con débil tendencia hacia el N45°.

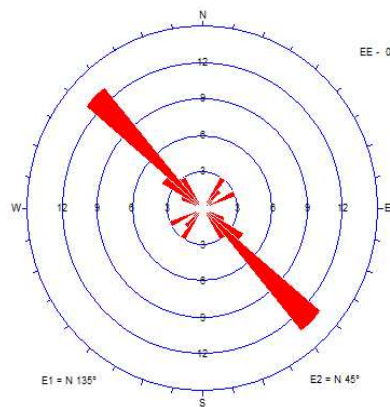
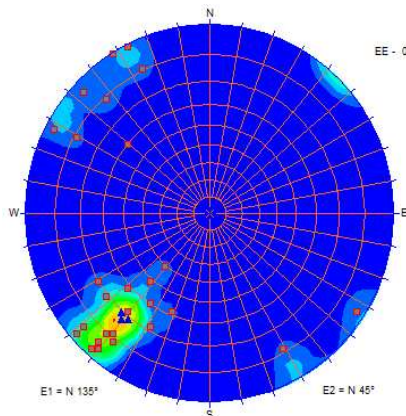


Figura n° 17.- (EE 05) se puede observar que la tendencia de las fracturas en las limonitas es de N315°.

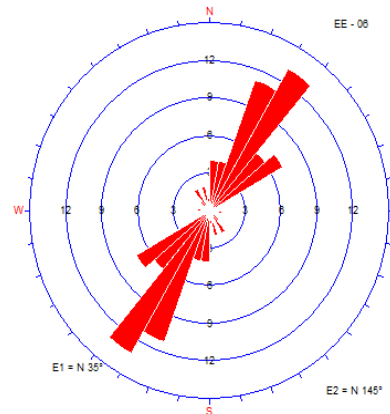
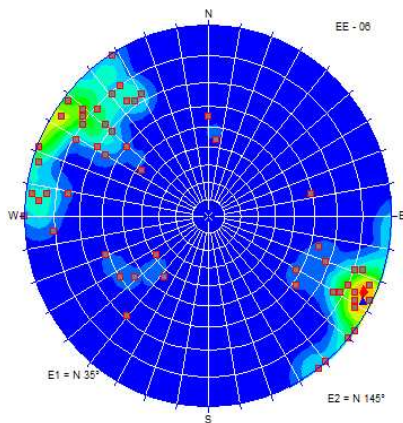


Figura n° 18.- (EE-06) En la quebrada Livitaca la presencia de vn de Molibdenita es N30°

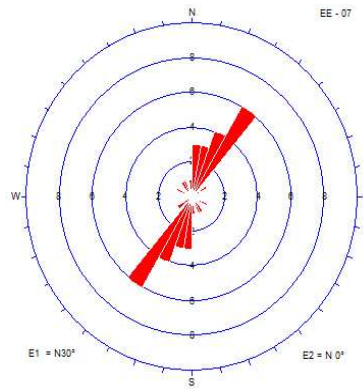
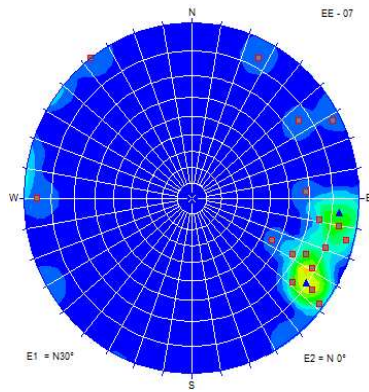


Figura n° 19.-
(EE-07) Continúa la
tendencia de las
fracturas con
relleno de limonitas
es N35°

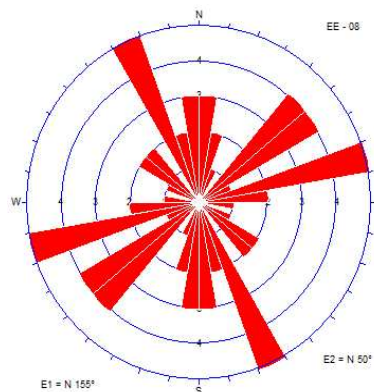
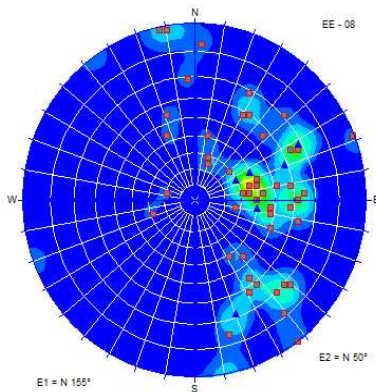


Figura n° 20.-
(EE-08) Stock
work en
cuarcitas, con
distribución de
esfuerzos
homogéneos.

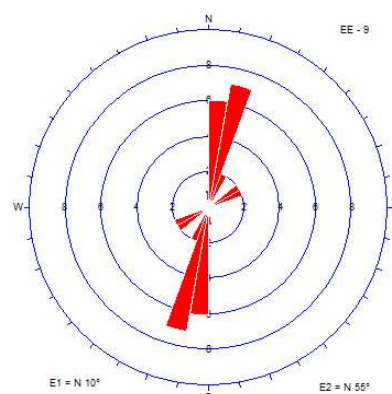
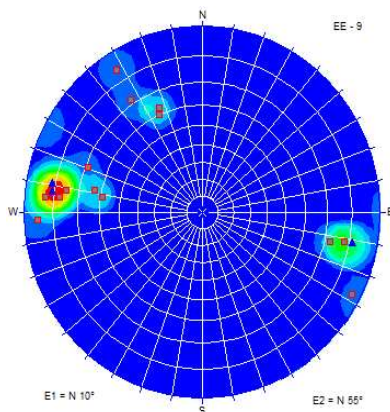


Figura n° 21.-
(EE-09) falla en
rio Chelleca, con
tendencia N10°

CAPÍTULO VII

MINERALIZACIÓN PORFIRÍTICA y VETILLAS DE Cu – Mo EN CUARCITAS

VII.1.- GÉNESIS DE LAS CUARCITAS

Las cuarcitas son rocas que se generan por efecto del metamorfismo de contacto de la arenisca rica en cuarzo, y es mucho más dura que esta. Se trata de una roca bastante común, con un color que varía entre gris (variedades más puras) y anaranjado, ocre o marrón (variedades que

contienen impurezas en su composición como los minerales de alteración hidrotermal). Se forma por exposición de las masas rocosas de arenisca a las altas temperaturas causadas por la proximidad de magmas, a bastante profundidad. El metamorfismo provoca la re-cristalización y la fusión de los granos que formaban la arenisca, dando lugar a una roca muy compacta, dura y bastante áspera al tacto.

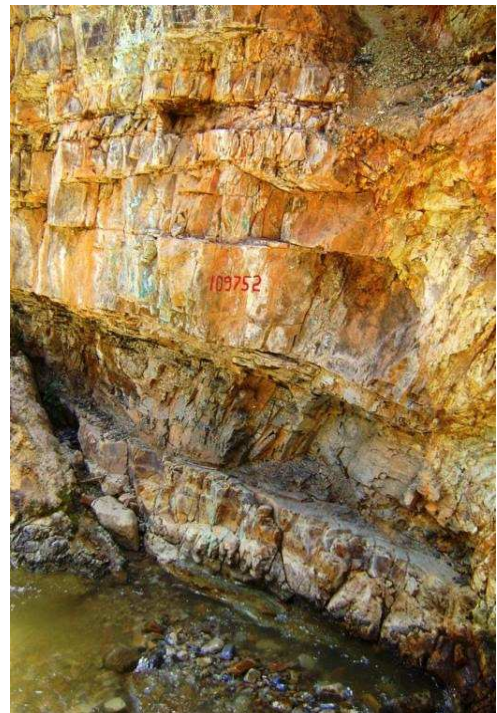
Al microscopio, en sección delgada y con luz polarizada, se visualiza que el cemento (cemento en mosaico) ha incrementado en continuidad óptica con los granos de la arenisca original que pueden llegar a obliterarse, resultando un "mosaico" de cristales de cuarzo de bordes rectilíneos.

Dentro de estos cristales se pueden reconocer sombrías manifestaciones "fantasmas" de los granos originales redondeados, en donde la angulosidad ha desaparecido y los vértices de cada grano no se observan, por estar soldados.

VII.2.- FORMACION HUINTUYO

La Formación Huintuyo se define como una secuencia de sedimentos clásticos, mayormente rojizos que sobreyacen al grupo Yura. *(ver foto n°26)*

Estas rocas están expuestas en un área longitudinal Norte-Sur, 15 km largo por 5 km ancho, en la hoja de Livitaca; se trata de areniscas y cuarcitas blanquecinas ligeramente amarillentas, anaranjadas (en superficie), donde se observan áreas con intenso fracturamiento producidos por el emplazamiento del pórfido traquiandesítico. *Foto n° 26.- formación huintuyo (rio Chelleca)*



El intenso fracturamiento ha producido relleno de óxidos de hierro y sulfuros de cobre que posteriormente fueron enriquecidos.

VII.3.- MINERALIZACIÓN EN LAS CUARCITAS

Las cuarcitas presentan compacidad y tenacidad muy altas; esta propiedad refleja en la poca receptividad que ofrece la roca a la depositación de las soluciones mineralizantes; sin embargo los diferentes pulsos magmáticos que forman parte del complejo Andahuaylas – Yauri, han generado en la roca caja, cambios mineralógicos y texturales. Ver fotos n°27, n° 28)



Foto n°27.- (izquierda)
Intenso fracturamiento de las cuarcitas de la Fm Huintuyo, Cpy y Mo rellenando fracturas.



Foto n°28.- (derecha) cpy con bordes de calcosina en cuarcitas, imagen ampliado con zoom.

Para el caso de las cuarcitas el evento más importante y fundamental para la depositación de la mineralización, fue sin duda el intenso microfracturamiento por donde han migrado las soluciones con contenido de sulfuros de cobre y molibdeno.

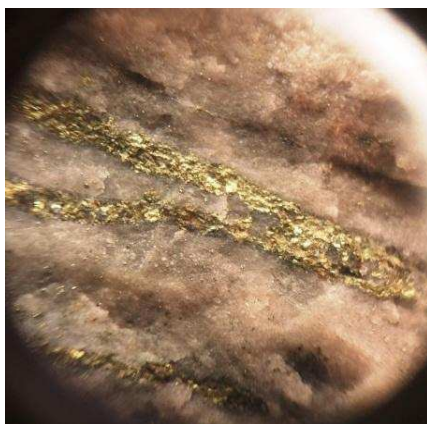


Foto n° 29.- (izquierda) vetilla de Cpy en cuarcitas.

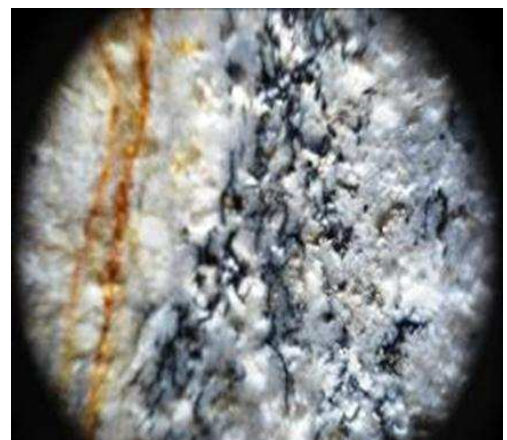


Foto n°30.- (derecha) se observa micro vetillas de de la formación Huintuyo Calcosina tipo hair line

El vetilleo y las textura de tipo hilos de cabello (hair line) se muestra como evidencia de la depositación de los sulfuros de cobre y Molibdeno,

que posteriormente ha sido enriquecido formando parte de la zona supérgeno (enriquecimiento secundario). (ver fotos n° 29 y n°30).

La destrucción de los componentes minerales de la roca han generado tanto en el pórfido traqui-andesítico como en las cuarcitas textura especial en el cual los sulfuros han quedado impregnado en la matriz de la roca, en donde los sulfuros se presentan diseminado con bordes estrellados; a esta textura lo hemos denominado salpicadura de puntos (flash point). (ver fotos n° 31 y n° 32)



Foto n° 31.- (izquierda) flash point de Molibdenita en cuarcitas. También se observa en el pórfido.

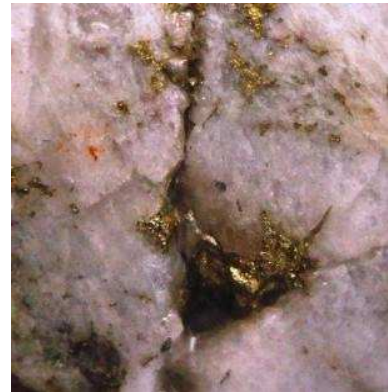


Foto n° 32.- (derecha) flash point de calcopirita en cuarcitas resolución de foto obtenida con zoom.

Otro factor que generó la migración de los sulfuros también ha sido las soluciones ácidas que han destruido la roca caja, tanto en la monzonita como en la traqui-andesita.

La segregación magmática de carácter calco-alcalino en el cual la monzonita es la roca hospedante original y que predominan en el área, ha permitido que rocas hipabisales de tipo traqui-andesita continúen con su ascenso hacia superficie, cortando y englobando a las cuarcitas de la formación Huintuyo como roca caja superior.

VII.3.1.- Cuarcitas.- La secuencia de areniscas y cuarcitas del Grupo Murco pertenece a la Formación Huintuyo y corresponde a una potente secuencia sub horizontal que fácilmente puede sobrepasar los 200m de espesor, el rumbo es variable, dependiendo de los eventos estructurales al cual fue sometido. Menvil eleva a la categoría de grupo a la Formación Murco en 1978, separando en dos formaciones huintuyo y chilliroya.

Estas cuarcitas tienen rumbos que oscilan entre N340° a N350° con promedios de buzamiento entre 20° a 40°, dependiendo también de los eventos de tectonismo y la intrusión magmática que ha migrado siguiendo aparentemente planos de estratificación.

El paquete de cuarcitas englobados en el pórfido y como roca caja debido a la impermeabilidad primaria y compacidad han sufrido intenso fracturamiento generando porosidad y permeabilidad secundaria como consecuencia de eventos tectónicos presión y temperatura consistentes, y también se ha reconocido en la mayoría de los sondeos en donde estos paquetes de cuarcitas están intercalados con rocas traqui-andesitas en forma sub horizontal con buzamientos hasta 25°. (E. Castro 2008).

En la mayor parte de los sondeos reconocidos se ha visto paquetes de cuarcitas que van desde metros a decenas de metros, englobado en la traqui-andesita como rock pendants con mineralización moderada que ha depositado la mineralización en las cuarcitas previamente preparado en forma de micro venillas conectadas entre sí.

El paquete de limolitas se ubica en los niveles inferiores de la cuarcita que pueden abarcar varios metros que van desde 20cm hasta 5m (observado en la intersección del río chelleca y quebrada yana ccolpayoc; sin embargo forma parte de la formación chilliroya en su nivel inferior y forma parte integrante del grupo murco.

VII.3.2.- Emplazamiento de la mineralización en cuarcitas.-

Los geólogos atribuimos a los procesos hidrotermales, la gran variedad de depósitos minerales metálicos como: el oro, plata, cobre, plomo y zinc, mercurio, antimonio y molibdeno y la mayoría de los metales menores y muchos minerales no metálicos.

Entre los factores que se consideran esenciales para la formación de depósitos hidrotermales dentro de la cuarcita son:

- Presencia de lugares emplazamiento para la deposición del contenido mineral en la roca hospedante.
- Alto contenido de micro-fracturamiento como consecuencia de eventos tectónicos y pulsos magmáticos durante la fase de intrusión.
- Presencia de aberturas en las rocas las cuales puedan canalizarse las soluciones.
- Disponibilidad de soluciones mineralizadoras susceptibles de disolver y transportar materia mineral.
- Suficiente concentración de materia mineral depositada para llegar a constituir depósitos explotables y rentables.

VII.4.- ALTERACIÓN HIDROTHERMAL EN LAS CUARCITAS

En las cuarcitas por su alta compacidad la alteración hidrotermal que se ha observado sólo abarca a las fracturas y zonas de falla, en donde predomina la sericita y caolín, por lo que se ha denominado alteración fílica.

En muchos tramos de los testigos logueados en los diferentes sondajes se han observado presencia de sericita tanto en matriz como en fracturas y venillas. Esto básicamente ocurre como consecuencia de la actividad tectónica intensa que ha generado micro fracturas y que posteriormente ha sido removilizado la sericita en forma retrógrada para formar la alteración fílica. (Ver foto n° 33 y 34)

Otros tipos como la alteración argílica intermedia con presencia de caolín y arcillas también se han observado, asociado sólo a las micro fracturas y venillas.



Foto n° 33.- (izquierda) cuarcita con alt filica moderada, foto obtenido con zoom de cámara fotográfica simple. Sondaje SAY-07, 190m,

Foto n°34.- (derecha) alteración filica moderada a fuerte en cuarcita, corresponde al sondaje Say-02, 80m se observa py y Molibdenita diseminado.



CAPÍTULO VIII

MINERALIZACIÓN Y ALTERACION HIDROTHERMAL EN LA TRAQUIANDESITA

VIII.1.- MINERALIZACIÓN EN LA TRAQUIANDESITA

La mineralización en las traqui andesitas está se ha formado como consecuencia del emplazamiento de la monzonita en su fase intermedia, luego un siguiente pulso magmático generado por las traquiandesitas han impulsado la migración de los sulfuros englobando en su recorrido a la cuarcitas de la formación Huintuyo.

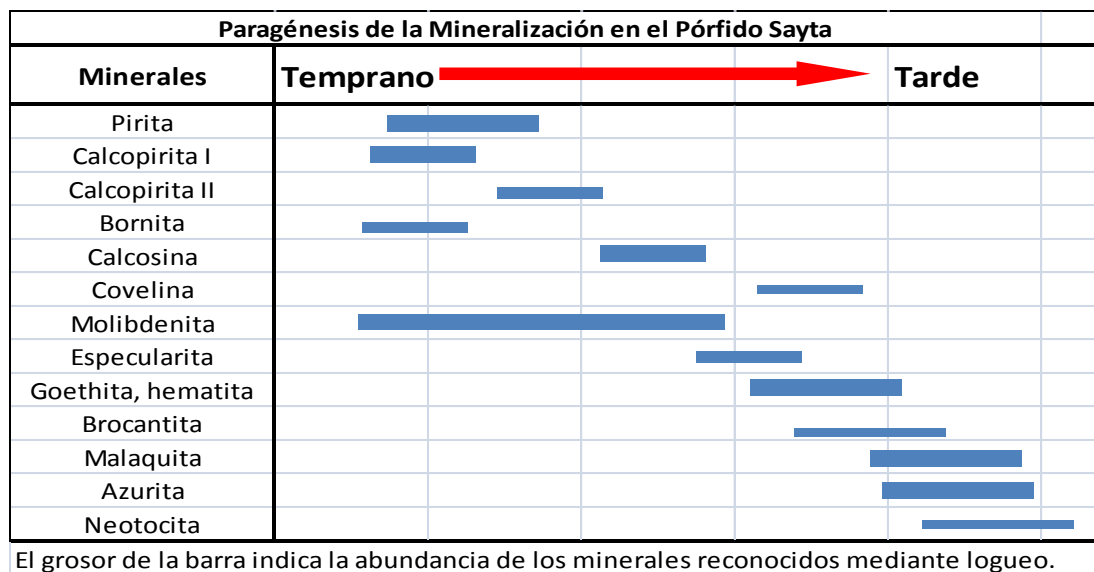
Los minerales que predominan el pórfido básicamente consiste en calcopirita, bornita, molibdeno en la zona hipógena, siguiendo el ascenso encontramos minerales de enriquecimiento secundario como la calcosina, covelina y molibdenita, finalmente en la zona de óxidos se ha reconocido minerales como neotocita, malaquita, azurita, calcantita y óxidos de fierro como goethita y hematita.

La zonación de los minerales está bien definido y representa un modelo típico para todo tipo de pórfidos de cobre en el mundo. De acuerdo a los estudios microscópicos se ha determinado la presencia de los minerales en la siguiente secuencia paragenética.

VIII.1.1- PARAGÉNESIS DE LA MINERALIZACIÓN.- Se sabe que la paragénesis, es una explicación de la migración de los fluidos durante su ascenso y consolidación para posteriormente formar los minerales del depósito. (ver cuadro n° 4)

Esta secuencia paragenética indica un aumento gradual de la proporción de cobre en los sulfuros y probablemente una disminución de la actividad del azufre en los fluidos mineralizadores con el tiempo.

En el cuadro n° 4 se observa la secuencia paragenética reconocida en el pórfido Sayta, se caracteriza por el sucesivo reemplazo de sulfuros ricos en Fe (pirita, Calcopirita) por sulfuros ricos en Cu (bornita, calcosina, covelina) lo que puede explicar la liberación de Fe y la formación de otros minerales como goethita, hematita especularita hipógena que acompaña a los sulfuros en el pórfido Sayta.



Cuadro n° 4.- Paragénesis de mineralización del pórfido sayta.

Durante el logeo de los 9 sondajes se hizo la interpretación paragenética de los minerales reconocidos, en los cuales se ha podido determinar la secuencia de depositación de los minerales. Debido a la crisis económica mundial que afecto principalmente al precio de los metales especialmente

al cobre, no se hizo ensayos petrográficos, por lo que el autor ha recurrido tan solo a la secuencia de mineralización y alteración.

En la fase inicial y temprana se depositó la pirita, calcopirita, bornita y molibdenita, a medida que sufre el enfriamiento en forma secuencial aparecen la calcosina, covelina, especularita y brocantita, finalmente en la fase final se puede observar todos los óxidos como consecuencia de la circulación de las aguas meteóricas como la malaquita, azurita y neotocita.

VIII.2. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL DEL PÓRFIDO

La alteración hidrotermal forma parte de una secuencia paragenética en zonación vertical y lateral que incluyen básicamente a las rocas intrusivas, estas zonas de alteración se han delimitado en superficie y en los sondajes ejecutados actualmente.

En el mapeo superficial es predominante la presencia de alteración fílica, con reemplazamiento de alteración argílica que destruye lentamente a la roca, mientras que en las cuarcitas la alteración mayormente está asociado a las fallas y fracturas. Se ha identificado las siguientes alteraciones hidrotermales que predominan en el pórfido traqui-andesítico:

VIII.2.1.- Alteración potásica.- La presencia de esta alteración es predominante en la parte baja del sistema que se observa a lo largo del río Livitaca. Su principal característica consiste en un reemplazamiento de las plagioclasas por la ortosa (ver cuadro nº5), y en algunos tramos hay presencia de venillas de ortosa del tipo A y otras venillas tipo B, que se han descrito en el ítem de estructuras. (Ver fotos nº 35, nº 36).



Foto nº35 (izq).- Alteración potásica con venilla de ortosa en traquiandesita

Foto nº 36 (der).- alteración potásica se observa biotita secundaria molibdenita y calcopirita asociado a venillas de ortosa.



Cuadro n° 5 .- distintos tramos de alteración potásica.

HOLE ID	FROM	TO	INTENSITY
SAY-01	19	52	MODERADO
SAY-01	80	90	MODERADO
SAY-01	94	160	MODERADO
SAY-01	180	210	MODERADO
SAY-01	230	260	MODERADO
SAY-02	106	112	MODERADO
SAY-02	121	154	MODERADO
SAY-02	180	214	MODERADO
SAY-02	254	310	MODERADO

SAY-03	16	18	DÉBIL
SAY-05	0	18	DÉBIL
SAY-05	40	62	DÉBIL
SAY-05	66	71	DÉBIL
SAY-05	81	92	DÉBIL
SAY-05	97	100	DÉBIL
SAY-05	202	250	MODERADO
SAY-06	334	350	MODERADO
SAY-07	71	100	MODERADO
SAY-09	346	354	MODERADO

VIII.2.2.- Alteración fílica.- Básicamente la alteración predominante en el pórfido Sayta está conformada por la alteración fílica con minerales de sericita y débil presencia de cuarzo que han reemplazado a las plagioclasas en las traquiandesitas, mientras que en las cuarcitas se ha reconocido sericita relleno de fracturas. (Ver fotos n°37, n°38).

En algunos tramos de los sondeos reconocidos, los minerales de la traquiandesita han sido totalmente destruidos.(ver tabla n°..



Fotos n° 37.- alteración fílica intensa. Se observa como pátinas en la cara de las areniscas y cuarcitas de la fm huintuyo.



Foto n° 38.- alteración fílica intensa en el pórfido traquiandesítico. Obsérvese la destrucción de los feldespatos (plag y ortosa) reemplazados por la sericita..

Cuadro n° 6.- distintos tramos con alteración fílica identificados durante el logeo:

HOLE ID	FROM	TO	INTENSITY
SAY-02	16	28	MODERADO
SAY-02	32	36	MODERADO
SAY-02	44	59	MODERADO

SAY-06	286	290	DÉBIL
SAY-07	185	187	MODERADO
SAY-07	191	193	MODERADO
SAY-07	204	242	MODERADO

SAY-02	62	76	MODERADO
SAY-02	90	105	MODERADO
SAY-02	114	120	MODERADO
SAY-02	220	254	MODERADO
SAY-03	4	14	DÉBIL
SAY-03	18	96	MODERADO
SAY-03	124	136	MODERADO
SAY-03	154	219	MODERADO
SAY-03	224	250	MODERADO
SAY-03	258	270	MODERADO
SAY-03	289	291	MODERADO
SAY-04	120	128	MODERADO
SAY-06	210	226	DÉBIL

SAY-07	250	254	MODERADO
SAY-07	288	302	MODERADO
SAY-08	2	18	DÉBIL
SAY-08	86	106	MODERADO
SAY-08	130	140	MODERADO
SAY-08	144	172	MODERADO
SAY-08	192	208	MODERADO
SAY-08	220	228	MODERADO
SAY-08	363	392	MODERADO
SAY-09	84	120	MODERADO
SAY-09	170	1808	DÉBIL
SAY-09	208	220	MODERADO
SAY-09	246	280	MODERADO

VIII.2.3.- Alteración argílica intermedia.- La presencia de arcillas de tipo caolín y sericita con trazas de clorita nos indican la presencia de este tipo de alteración; en afloramiento se ha reconocido en los alrededores del campamento Sayta asociados al pórfido andesítico básicamente por intemperización y lixiviación, mientras que en profundidad se ha reconocido muchos tramos interesantes en los siguientes sondajes. (Ver foto n°39)

a continuación se presenta una tabla con los tramos de alteración reconocidos en campo. (Ver cuadro n°7)

HOLE ID	FROM	TO	INTENSITY
SAY-03	2	3	MODERADO
SAY-06	0	10	MODERADO
SAY-07	0	10	MODERADO

Cuadro n° 7.- tramos con alteración Argílica



Foto 39.- Alt argílica en traqui andesita, la plg está reemplazado por caolín y cloritas.

VIII.2.4.- Alteración propilítica.- La alteración propilítica en el depósito está caracterizada básicamente por la presencia de trazas de clorita y epidota, siempre presente en los bordes del yacimiento, mientras que en las cuarcitas no se reconocido este tipo de alteración. (Ver foto n°40).

La alteración propilítica se han reconocido solo en los sondajes, mientras que en superficie no se ha reconocido aun, pienso que más al sur y en los bordes del pórfido se puede encontrar. (Ver cuadro n°8)

HOLE ID	FROM	TO	INTENSITY
SAY-01	294	324	MODERADO
SAY-04	80	92	MODERADO

Cuadro n° 8.- tramos con alteración propilítica



Foto n°40.- alteración propilítica en traquiandesitas, con epidotas y cloritas diseminado y reemplazando máficos y plg..

CAPÍTULO IX

ZONACION Y MINERALIZACIÓN DEL PÓRFIDO SAYTA

El zonamiento de la mineralización en el Pórfido Sayta y en las cuarcitas, está caracterizado por la presencia de minerales de cobre, en tanto que la alteración hidrotermal afecta al pórfido en su conjunto, mientras que las cuarcitas solo presentan alteración en las fracturas por relleno de sericita y o arcillas.

Sin embargo el comportamiento físico mecánico de las cuarcitas y su composición homogénea no han permitido destrucción de los componentes minerales, razón por la que no se ha identificado los tipos de alteración hidrotermal, que tiene toda roca intrusiva, hipabisal o volcánica. (Hedenquist, J. 2011).

IX.1.- ZONA DE ÓXIDOS.- En el tope del pórfido en la capa erosionada (leach cap) se han formado óxidos de Fe y Mn como goethitas, hematita, neotocita y aislados tramos de jarosita, también se ha reconocido óxidos verdes conformado por malaquita, azurita, brocantita, crisocola y calcantita, que profundizan a través de las fracturas. (Ver foto n° 41).

Se puede reconocer en los alrededores del SAY-06, y hacia los flancos del río Livitaca en las paredes de andesitas o traquiandesitas minerales de calcantita y azurita.

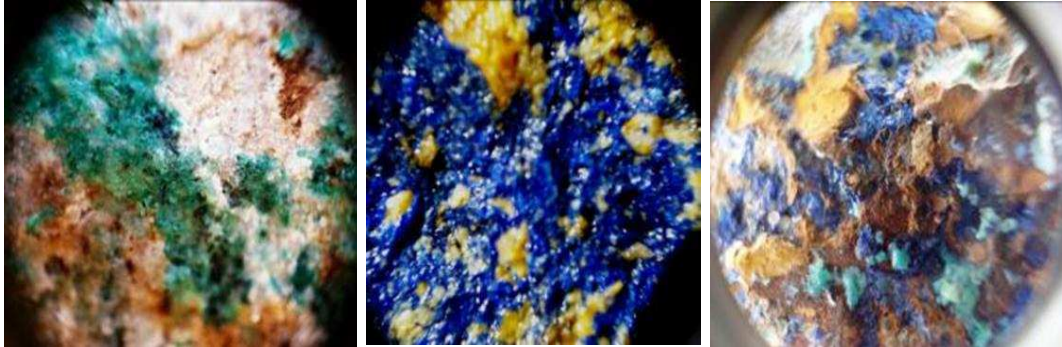


Foto 41.-Zoom de los minerales en cuarcitas, en la zona de óxidos.

En tanto que hacia la margen derecha del río Chullumayo en cuarcitas se ha reconocido calcantita y brocantita, malaquita y neotocita. (Ver foto n°42).

El espesor promedio de la mineralización de óxidos verdes es entre 20 a 120m con leyes de cobre promedio que superan el 0.42% de ley cutt of.

Foto 42..- en el tope del cerro Sayta, ubicado entre las quebradas Chelleca y Chullumayo se puede apreciar pátinas de malaquita, azurita e intenso craquelamiento de las cuarcitas de la Formación Huintuyo.



IX.2.- ZONA SUPÉRGENA (Enriquecimiento secundario)

Básicamente está conformado por la calcosina como mineral principal relleno de fracturas, venillas y como halos de la calcopirita. Trazas de covelina se han reconocido, en algunos tramos del pórfido como halos de la calcopirita. Esta zona puede concentrar pirita relleno de fracturas básicamente en las cuarcitas, mientras que en las andesitas se presenta diseminado. (Ver fotos n° 43, n°44).

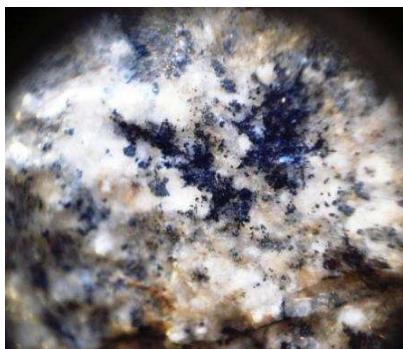


Foto n° 43 (izq).-
covelina
en
traquiandesitas
asociado a alteración
filica.

Foto n° 44 (der).-
calcosina en venillas.



La zona de enriquecimiento en el pórfido presenta una potencia aproximada de 220m con leyes promedio entre 0.5% - 0.65% de Cu.

Las cuarcitas con micro-venillas de tipo hilos de cabello (hair line) presentan minerales de calcosina y trazas de covelina. Las venillas de cuarzo reconocidas en esta zona, le imprimen débil a moderada silicificación tanto a las cuarcitas como al pórfido traqui-andesítico.

IX.3.- ZONA HIPÓGENA (Sulfuros Primarios)

Está caracterizado por presentar calcopirita, pirita y molibdenita, corresponden a la zona profunda del sistema en donde la cuarcita ha quedado atrapado en forma de bloques rock pendant en las monzonitas que han preparado la roca y que posteriormente ha sido intruído por rocas hipo- abisales de tipo traqui-andesita. (ver fotos n° 45, n°46)

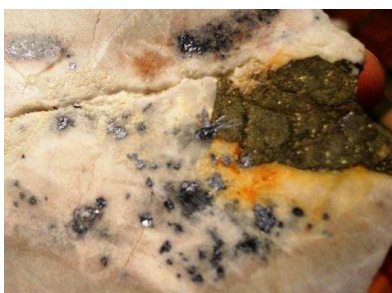


Foto n° 45 (izq).- Mol y Cpy
en cuarcitas de la
fm Huintuyo

Foto n° 46.- Cpy asociado a
cuarcitas, halos de calcosina
en los bordes indicando
enriquecimiento supérgeno.



Esta zona básicamente se encuentra en la parte baja del sistema a partir del río Livitaca hacia profundidad o centro del sistema, con espesor promedio de 80 a 180m en donde el mineral primario consiste de calcopirita y pirita, se ha reconocido en al sondaje SAY-06 minerales de tetraedrita, marmatita y bornita (trazas).

En algunos tramos en los sondajes logueados se ha identificado la presencia de cobre nativo y calcopirita en venillas rellenando las fracturas de la cuarcita. (Ver fotos n° 47, n°48).



Foto n°47 (izq).- Cobre nativo rellenando fracturas en las cuarcitas.

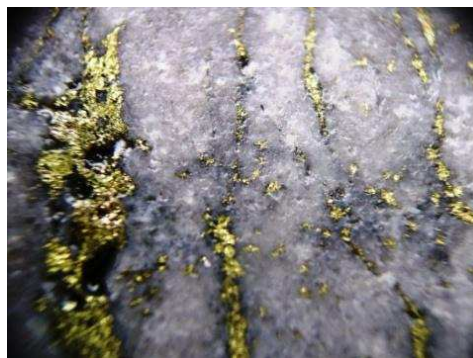


Foto n°48.- cpy en en venillas en el pórfido tipo Traquiandesítico, moderada alteración potásica.

El zonamiento vertical de la mineralización metálica coincide con el modelo del tipo pórfido en el mundo, en tanto que la alteración hidrotermal son predominantes la alteración potásica y la alteración fílica, en tanto que la alteración argílica intermedia y sílica son puntuales y ocupan áreas menores.

Es importante señalar que el presente modelo que pueden tener observaciones en su forma, toda vez que se postula con 9 sondajes, por lo tanto para tener un modelo más consistente se requiere de más sondajes.

CAPÍTULO X

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

X.1 FUENTE DE MINERALIZACIÓN DEL PÓRFIDO SAYTA

La monzonita se ubica hacia el piso de toda la columna. La forma del cuerpo no se ha definido, sin embargo se presume que puede tener un área entre 2000m x 1000m, teniendo en cuenta que forma parte periférica del batolito Andahuaylas Yauri de composición calco alcalino en su fase intermedia.

Durante la etapa de consolidación la monzonita, quedaron fluidos hidrotermales residuales que mineralizaron la roca en forma débil en la primera fase, luego la roca sufrió la intrusión de magmas de composición traquiandesitas aparentemente de manera gradacional por presión y luego de pasar de la fase ortomagmática a la fase hidrotermal ha generado alteración hidrotermal en sus diferentes fases, preparando a la roca para la migración y deposición de las soluciones mineralizantes (sulfuros) esto es como consecuencia de la inmiscibilidad de los iones metálicos; surgiendo de esta manera una segunda fuente de mineralización (segunda ebullición) mucho más rica en minerales económicos, alcanzando otras rocas como las cuarcitas de la formación huintuyo

En afloramientos y testigos de perforación se puede evidenciar e interpretar que bloques de areniscas y cuarcitas se encuentran englobados dentro de las rocas intrusivas en forma de rock pendants o xenolitos, y como consecuencia de ello ha sufrido metasomatismo, intenso craquelamiento y formación de espacios permitiendo la depositación de los sulfuros en forma de micro vetillas y básicamente diseminado, como consecuencia de ello la concentración de minerales de cobre primario inicialmente y enriquecimiento secundario posterior.

Creemos que los factores principales que han facilitado la precipitación de los sulfuros y posterior enriquecimiento secundario tanto en las traquiandesitas y en especial en las areniscas y cuarcitas de la formación Huintuyo, son los siguientes fenómenos geológicos:

- acumulación de presión y brechización,
- sellamiento y repetición de eventos,
- celdas convectivas de fluidos meteóricos,
- rápido enfriamiento del sistema y de la zona de transición,
- cambios en comportamiento de la roca,
- fracturamiento, generación de vetillas y vetas,

- aumento de razón agua roca, sistema que se retroalimenta,
- evolución de sistema pórfido en función de procesos integrados (comportamiento reológico, fracturamiento, permeabilidad.

Finalmente por las evidencias geológicas encontradas podemos decir que la fuente de mineralización en una primera etapa se dio a partir del magmatismo de la roca monzonita y en una segunda etapa a partir de la traquiandesita.

X.2.- GÉNESIS DEL YACIMIENTO SAYTA

Los pórfidos de Cu- Mo típicamente son de origen magmático hidrotermal y son de ambiente típico originados en arcos magmáticos relacionados a zonas de subducción. Las fases de circulación de aguas magmáticas hidrotermales en la roca hospedante produce el enfriamiento del sistema como consecuencia de la circulación de aguas subterráneas (celdas convectivas) y finalmente complejos iónicos desestabilizan y precipitan sulfuros metálicos.

En tal sentido el Pórfido Sayta al formar parte del arco continental en confluencia con la placa de nazca se ha formado en este ambiente.

El yacimiento de tipo pórfido Cu-Mo Sayta ha sido originado por el emplazamiento de la monzonita en su fase inicial como parte del batolito Andahuaylas – Yauri en su enfriamiento la roca ha sufrido diferentes pulsos magmáticos siendo el principal la traquiandesita.

Luego de una posterior actividad magmática la presión y temperatura ha producido en las rocas caja para diferentes fases de alteración hidrotermal típicas en los pórfidos de cobre, la alteración potásica y propilítica ambos forman parte de la alteración primaria, en tanto que la alteración fílica, argílica intermedia forman parte de la alteración secundaria descritas en el capítulo II.

Finalmente en esta roca caja preparada se han depositado los sulfuros primarios con contenidos de calcopirita, pirita, bornita, molibdenita, oro y otros elementos metálicos. Posterior a este proceso como consecuencia de la pérdida de iones de hierro se produce enriquecimiento secundario como son la calcosina, covelina y pirita mientras que hacia el final de la fase de mineralización se produce la oxidación de todos los minerales en donde la circulación de aguas meteóricas ha producido la formación de minerales como la malaquita, azurita, neotocita, brocantita, crisocola y óxidos de fierro como hematita y goethita

Roca hospedante o roca de caja intruído por los pórfidos mayoritariamente son volcánicos pero en nuestro caso es especial parte de la roca hospedante esta compuesta por areniscas y cuarcitas y forma parte principal de la investigación en donde ha quedado englobado y ha asimilado la mineralización primaria constituida por sulfuros en forma diseminada y en vetillas, para posteriormente formar zonas de enriquecimiento secundario pasando por la zona mixta este factor es típico de los pórfidos de Cu-Mo en el Perú y el mundo.

Las fases de alteración hidrotermal han son receptáculos para determinado tipo de mineral metálico. Así los sulfuros primarios normalmente están asociados a alteración potásica, en tanto que sulfuros secundarios o de enriquecimiento se observa que están asociados a alteración fílica y argílica intermedia.

Finalmente diremos que la génesis es de tipo pórfido de Cu-Mo porque parte de la roca tienen texturas porfiríticas y su característica principal de acuerdo a la definición de pórfidos los tonelajes son altos y las leyes son bajas. De acuerdo a los análisis geoquímicos se ha demostrado la presencia de minerales de cobre y molibdeno en el yacimiento de Sayta por lo catalogamos como un pórfido de Cu-Mo.

X.3.- MODELO GENÉTICO DEL YACIMIENTO

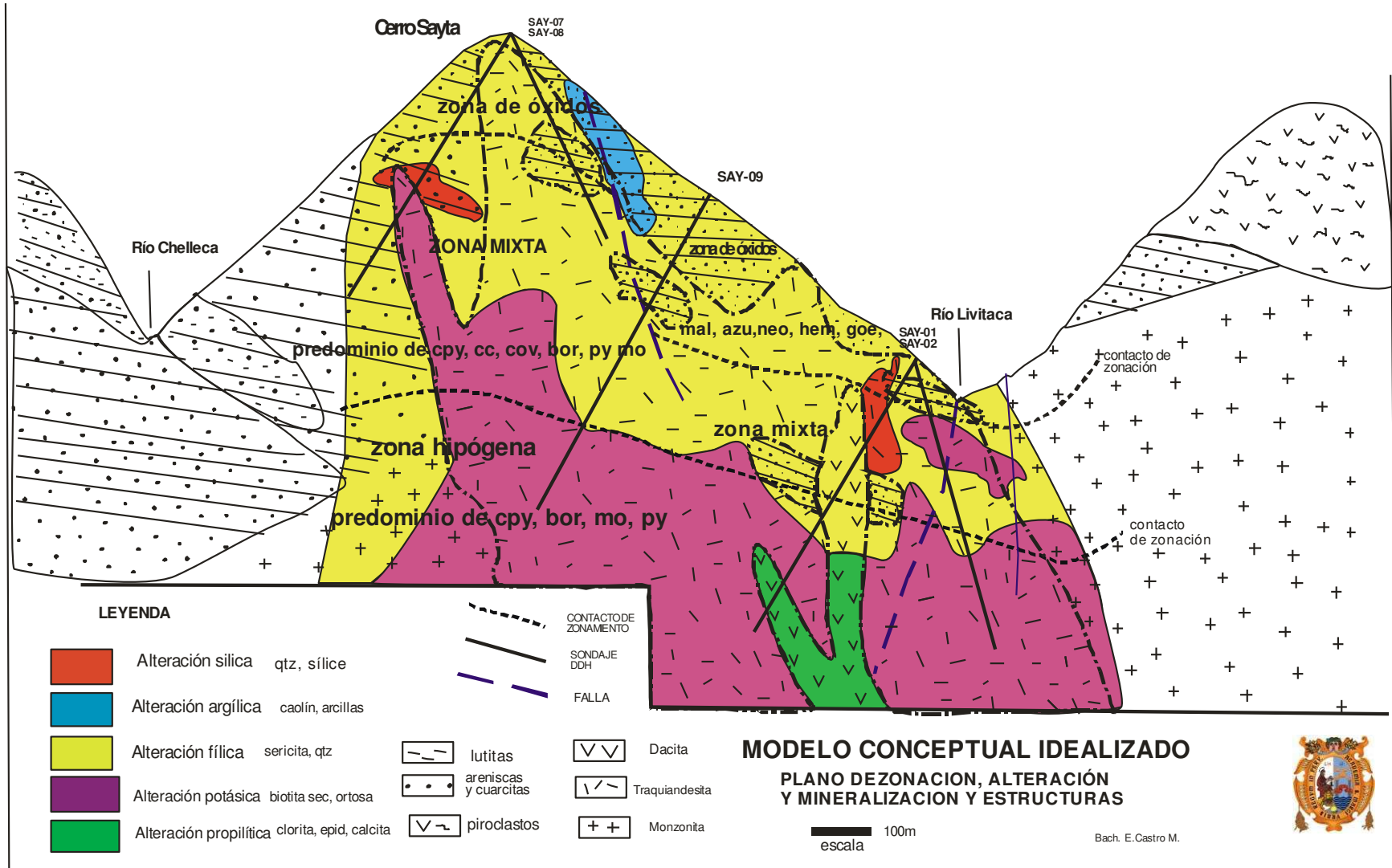
En esta parte del trabajo nos hemos permitido a bosquejar de manera genérica un posible modelo genético del yacimiento; en la siguiente figura se observa el modelo conceptual idealizado de zonación del mineral asociado al tipo de alteración hidrotermal y tipo de roca, se postula este modelo en función a datos obtenidos en 9 sondajes ejecutados, sin embargo está sujeto a variaciones de forma y tamaño y otros aspectos ya que no se tiene el número suficiente de taladros.

El zonamiento vertical de la mineralización metálica coincide con el modelo del tipo pórfido en el mundo; los diferentes tipos de alteración hidrotermal reconocidos en el pórfido son: la alteración potásica y la alteración fílica, en tanto que la alteración argílica intermedia y sílica y propilítica ocupan áreas menores. En los tramos interceptados por los sondajes a las areniscas y cuarcitas se observan que la alteración fílica y argílica tienen intensidades diferentes siendo débilmente diseminado en la matriz sin embargo se observa moderado a intenso en las microfracturas y fallas con relleno de sericita y caolín.

La zonación está distribuida verticalmente y varía dependiendo de la actividad tectónica y la permeabilidad, la circulación de aguas meteóricas definen la zona de óxidos que puede llegar hasta 140m, mientras de la zona mixta en donde se encuentran minerales de calcosina y covelina como halos de la calcopirita llegan hasta 350m, finalmente la zona hipógena aun no determinado en su profundidad consiste básicamente de cpy, mo, py ya que en uno de los sondajes llegó hasta 450m. *(Ver figura n°22)*

**Figura
n°22**

PERFIL SECCIÓN MIRANDO AL NOROESTE



CAPÍTULO XI

RELACIONES COMUNITARIAS

Las acciones más importantes surgidos en las actividades desarrolladas durante la ejecución del programa ha tenido consecuencias directas en el apoyo directo hacia las comunidades de Chelleca y Livitaca, en donde la participación directa con la mano de obra y los permisos obtenidos de las entidades correspondientes como son: DIA (Declaración de Impacto Ambiental), consultas previas, IRA (Inventario de Recursos Arqueológicos), ALA (Administración local del Agua) no hubo ningún obstáculo en su ejecución.

Todo proyecto debe estar bien encaminado a una buena relación con las comunidades, en el respeto mutuo y el diálogo entre la Comunidad y la empresa. Teniendo este objetivo como base principal para el desarrollo del proyecto se ha obtenido el apoyo constante de los pueblos de influencia directa asegurando desde el área de relaciones comunitarias la continuidad de los trabajos durante toda la campaña de exploración.

Las comunidades urbanas y rurales que se encuentran dentro del área de influencia directa del proyecto minero Sayta como Livitaca, Chellecca, y Omacha, han recibido una serie de beneficios como son:

- Mejoramiento de caminos y campamentos mineros. *(Ver foto n°49).*
- Construcción de escuelas y postas médicas
- Empleo directo e indirecto en las comunidades
- Programas de apoyo en la capacitación técnico productiva
- Cooperación mutua para el desarrollo de sus comunidades *(ver foto n° 50).*
- Otorgamiento de becas a los estudiantes
- Charlas de capacitación diaria y entrenamiento a los trabajadores para apoyo técnico.



Foto n° 49.- Vista del Campamento Sayta, hacia el córner izquierdo superior se aprecia la máquina de perforación y los testigos en el piso para el etiquetado y logueo respectivo.



Foto n° 50.- trabajadores de la Comunidad Pataqueña (Provincia de Chumbivilcas) en plena faena, ampliando trocha de acceso en la lado Este del río Livitaca.



Foto n° 51.- mirando al Sur. Quebrada principal por donde fluye el río Livitaca de sur a norte, este río limita 2 comunidades: hacia la margen izquierda en donde aflora el pórfido pertenece a la Comunidad de Chelleca Omacha (prov Paruro), hacia la margen derecha se observa rocas piroclásticas y el pórfido que pertenece a la comunidad de Pataqueña (prov Santo Tomás Chumbivilcas).



Foto n° 52.- uso de acémilas para el transporte de víveres apoyo logístico en la perforación por parte de la comunidad de Checcapucara y chelleca, es un actividad de apoyo social.



Foto n° 53.- trabajadores de la comunidad de Checcapucara durante la construcción de campamento. (pertenecen a la provincia de Chumbivilcas – Santo Tomas.



Foto n° 54.- SAY- 02, almacenamiento temporal para el secado de los core en la caja porta testigos obtenidos de la perforación.

CAPÍTULO XII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

XII.1 CONCLUSIONES

- La génesis de la mineralización del pórfido Sayta básicamente está asociado a las monzonitas en su fase inicial, sin embargo por diferenciación un segundo pulso magmático la traquiandesita transporta los sulfuros y engloba bloques de areniscas y cuarcitas en la cual por su porosidad, intenso craquelamiento y formación de micro fracturas han permitido la concentración de sulfuros de cobre y molibdeno.
- El yacimiento Sayta es un depósito de tipo pórfido Cu-Mo cuya roca hospedante es la traquiandesita, monzonita, las areniscas y cuarcitas de la formación huintuyo. Sin embargo el descubrimiento de este pórfido se llevó a cabo de acuerdo a un intenso programa de exploración con recopilación de muestras de sedimento, suelos y rocas.
- La mineralización secundaria en el pórfido Cu-Mo Sayta esta enriquecido básicamente en las areniscas y cuarcitas, debido al intenso fracturamiento durante la intrusión del pórfido traqui andesítico. Posteriormente las cavidades o micro fracturas se rellenaron con sulfuros primarios y secundarios produciendo una textura tipo hair line, flash point, etc.
- Revisando las secciones y haciendo las correlaciones de los sondeos se puede observar que las traquiandesitas se emplazan cortando casi en forma sub vertical a todo el paquete de areniscas y cuarcitas, en algunos tramos engloba grandes bloques y clastos observados durante el logueo. (ver modelo conceptual).

- La alteración hidrotermal que predomina en afloramiento es la alteración fílica básicamente en las rocas intrusivas como la monzonita y traqui andesita, mientras que en las cuarcitas no se ha reconocido alteración hidrotermal importante salvo en fracturas donde la sericita se encuentra presente; mientras que la alteración potásica se presenta en profundidad con un núcleo aparente de calco-silicato.
- Las Estaciones estructurales que nos han definido la tendencia de los esfuerzos básicamente en las fracturas es N125 y otra N45, mientras que en las venillas tenemos una tendencia de N340-N20, lo que explica claramente que estos esfuerzos son producto de un gran juego estructural con un predominio esfuerzo principal dextral que se observa en los ríos Livitaca y Chullumayo. Las venillas observados a lo largo del Río Livitaca sugiere que el emplazamiento se produce dentro
- El proyecto Sayta es un pórfido traqui andesítico con buena exposición y zonamiento; por lo que la columna mineralizada se estima aproximadamente 300m, se estima recursos minerales de clase mundial. El afloramiento principal del pórfido se ubica en río Livitaca se sospecha en el cuerpo tiene forma elipsoidal cuya área es de 650000 m², se propone 200m profundidad y 2.5 (pe) haciendo un total de 325MT (no se tiene permiso de publicación de la empresa).
- La compacidad de las cuarcitas al soportar intenso eventos tectónicos han sufrido craquelamiento y micro-fracturamiento generándose porosidad y permeabilidad secundaria que ha permitido la migración de los sulfuros y posterior enriquecimiento que en muchos tramos representa mayores leyes de cobre que el mismo pórfido.
- La falla activa sobre el cual discurre el río Livitaca es un buen control del enriquecimiento secundario de cobre, de igual forma esta falla ha sido el que ha puesto en evidencia el afloramiento de molibdenita en

toda la quebrada y que amerita buena práctica en exploración a lo largo de los ríos.

- Los datos obtenidos pertenecieron a una empresa privada hasta el 2008, cuyos datos fueron publicados en su oportunidad para lo cual agradezco a los directores que me dieron la oportunidad de sustentar el presente trabajo de investigación.

XII.2 RECOMENDACIONES

- ✓ El programa de perforación debería tener una inclinación preferente entre 70 y 50° para cortar los cuerpos sub-horizontales de cuarcita y los aparente fingers (dedos) mineralizados de las traqui andesitas como es el caso del SAY-02 donde se ha encontrado la mineralización más potente y con mejores leyes.
- ✓ Se debe realizar dataciones de la roca para diferenciar los posibles pulsos magmáticos y la paragénesis, en mi opinión se trataría de diferentes rocas tanto hipabisales como intrusivas, ya que en el logeo se ha encontrado mega cristales de ortosa que no corresponden a la monzonita o traqui-andesita sugerida y que se encuentran más profundas.
- ✓ Realizar sondajes más profundos en la zona Pataqueña sobre los 600m para identificar el pórfido Monzonítico, que constituye la posible roca feeder (fuente) de la mineralización con orientación hacia el Este que finalmente nos pueden definir la fuente y el cuerpo principal del pórfido.
- ✓ Los pórfidos similares al Proyecto Sayta en muchas áreas del batolito Andahuaylas- Yauri, se encuentran ocultos y a manera de ventanas por lo que se recomienda un gran programa de investigación geofísica y geoquímica regional.

- ✓ El Proyecto Sayta es un buen prospecto que requiere mayores trabajos e intensificación de mapeo detallado tanto de trochas y accesos como un re-mapeo del plano base; además se debe continuar con el programa de muestreo geoquímica planificado.
- ✓ Las posibilidades de un yacimiento de clase mundial es positivo, por lo tanto el área del pórfido actual reconocido es de 600x800m, esta área se puede incrementar fácilmente hacia Este donde el pórfido se encuentra cubierto por ignimbritas, por tanto el pórfido se incrementaría a un área de 800x1200m.
- ✓ El pórfido de Cu Mo Sayta forma parte de cinturón Andahuaylas Yauri, por lo se debe utilizar las imágenes satelitales y continuar con las técnicas de investigación descritas en el marco teórico para confirmar la continuidad del cuerpo mineralizado que se proyecta hacia el Norte.
- ✓ Se recomienda a las universidades implementar el curso de relaciones comunitarias ya que son los geólogos de exploración los que tienen contacto directo con las comunidades.

CAPÍTULO XIII

ANEXOS

XIII.1 TABLAS Y CÓDIGOS DE INTERPRETACIÓN

Los pórfidos de cobre siempre son comunes y de clase universal, sin embargo en el proyecto Sayta se ha incrementado cambios que se sujetan básicamente a la presencia de las cuarcitas de la formación Soraya.

En este capítulo se adjunta los datos recopilados durante el mapeo geológico, tanto estructural como tablas prácticas de logueo utilizados para definir el modelo del yacimiento.

Se han elaborado 3 tipos de tablas de logueo:

- Tabla de logueo litológico y estructural
- Tabla de logueo de alteración y mineralización

XIII.1.1.- Cuadro de datos estructurales.- se han elaborado diferentes cuadros de los datos de campo obtenidos durante la medición en diferentes zonas del proyecto (9 estaciones estructurales en total). *Ver cuadros n°9, n°10, n°11, n°12, n°13, n°14, n°15, n°16, n°17.*

Los resultados se mostraron en el capítulo VI, páginas 79, 80, 81. Los datos de campo obtenido durante las mediciones en todo el proyecto con espaciamientos a criterio del geólogo se muestran en los cuadros.

XIII.1.2.- Cuadro de alteración.- este cuadro fue elaborado por Corbert & Leach y constituyen una herramienta práctica para la identificación de diferentes yacimientos. *(Ver figura n° 22)*

XIII.1.3.- Tabla de reconocimiento de rocas.- propuesto por Streckeisen. *(Ver figuras n°23, n°24)*

XIII.1.4.- Relación de figuras, fotos, cuadros y tablas.

Figuras	pág.	Fotos	pág.	Fotos	pág.	cuadro	pág.							
1	25	1	46	26	83	1	21							
2	26	2	47	27, 28, 29, 30	84	2	32							
3	29	3	50	31, 32	85	3	44							
4, 5	30	4	51	33, 34	88	4	89							
6	32	5	54	35, 36	90	5, 6	91							
7	38	6	58	37, 38	91	7	92							
8	44	7, 8	62	39	92	8	94							
9	49	9, 10, 11	63	40	93	9	110							
10	60	12, 13, 14	66	41, 42	94	10	111							
11	61	15	67	43, 44, 45, 46	95	11	112							
12	67	16, 17, 18	68	47, 48	96	12	113							
13, 14	80	19	69	49, 50, 51	103	13	114							
15, 16, 17, 18	81	20, 21	70	52, 53, 54	104	14	115							
19, 20, 21	82	22	71	<table><tr><th>Tablas Strater</th><th>pág.</th></tr><tr><td>1</td><td>77</td></tr><tr><td>2</td><td>78</td></tr><tr><td>3</td><td>79</td></tr></table>	Tablas Strater	pág.	1	77	2	78	3	79	15, 16	116
Tablas Strater	pág.													
1	77													
2	78													
3	79													
22	101	23, 24	72	17	117									
23, 24	121	25	73	18	118									
				19	119									
				20, 21	120									

EE – 1 Ubicación: Sureste del rio Chuyumayo, o al norte del campamento Sayta.								
Nº	Buz.	Direc Buz	track	Estructura	Azimut	Relleno	Este	Norte
1	64	30	Wp-1	Fx	300	Limonitas	211,203	8,429,089
	68	150	2	Fx	60	Limonitas	211,203	8,429,089
3	66	152	3	Fx	62	Limonitas	211,203	8,429,089
4	50	260	4	Fx	170	Limonitas	211,203	8,429,089
5	60	260	Wp - 2	Fx	170	Abierto	211,202	8,429,080
6	58	266	2	Fx	176	Abierto	211,202	8,429,080
7	58	268	3	Fx	178	cerrado	211,202	8,429,080
8	28	230	4	bed	140	cerrado	211,202	8,429,080
9	72	100	5	Fx	10	Limonitas	211,202	8,429,080
10	50	268	6	Fx	178	cerrado	211,202	8,429,080
11	48	272	7	Fx	182	cerrado	211,202	8,429,080
12	66	150	8	Fx	60	Limonitas	211,202	8,429,080
13	50	2	Wp - 3	Fx	272	Limonitas	211,204	8,429,096
14	74	264	2	Fx	174	Limonitas	211,204	8,429,096
15	30	122	3	Fx	32	cerrado	211,204	8,429,096
16	60	20	4	Fx	290	Limonitas	211,204	8,429,096
17	50	352	5	Fx	262	Limonitas	211,204	8,429,096
18	54	350	6	Fx	260	cerrado	211,204	8,429,096
19	74	172	7	Fx	82	cerrado	211,204	8,429,096
20	90	170	8	Fx	80	cerrado	211,204	8,429,096
21	90	352	9	Fx	262	cerrado	211,204	8,429,096
22	88	178	10	Fx	88	cerrado	211,204	8,429,096
23	40	266	Wp - 4	Bed	176	Limonitas	211,212	8,429,111
24	42	250	2	Bed	160	Limonitas	211,212	8,429,111
25	68	8	3	Fx	278	Limonitas	211,212	8,429,111
26	60	8	4	Fx	278	cerrado	211,212	8,429,111
27	64	242	5	Fx	152	Limonitas	211,212	8,429,111
28	64	246	6	Fx	156	Limonitas	211,212	8,429,111
29	40	54	7	Fx	324	Limonitas	211,212	8,429,111
30	50	240	8	Fx	150	Limonitas	211,212	8,429,111
31	30	242	Wp - 5	Bed	152	cerrado	211,213	8,429,117
32	60	20	2	Fx	290	Limonitas	211,213	8,429,117
33	60	34	3	Fx	304	Limonitas	211,213	8,429,117
34	61	44	4	Fx	314	Limonitas	211,213	8,429,117
35	68	102	5	Fx	12	Limonitas	211,213	8,429,117
36	58	100	6	Fx	10	Limonitas	211,213	8,429,117
37	78	104	7	Fx	14	Limonitas	211,213	8,429,117
38	68	30	8	Fx	300	Limonitas	211,213	8,429,117
39	54	18	9	Fx	288	cerrado	211,213	8,429,117
40	44	266	Wp - 6	Bed	176	cerrado	211,219	8,429,126
41	40	264	2	Bed	174	Limonitas	211,219	8,429,126
42	42	94	3	Fx	4	cerrado	211,219	8,429,126
43	42	78	4	Fx	348	Limonitas	211,219	8,429,126
44	60	90	5	Fx	0	cerrado	211,219	8,429,126
45	64	94	6	Fx	4	Limonitas	211,219	8,429,126
46	60	104	7	Fx	14	Limonitas	211,219	8,429,126
47	68	108	8	Fx	18	Limonitas	211,219	8,429,126
48	50	102	9	Fx	12	Limonitas	211,219	8,429,126

Cuadro n° 9.-
 datos obtenido
 de la Estación
 Estructural n° 1
 ubicado al Oeste
 del campamento
 Sayta, (margen
 derecha de la
 qda Chelleca)

ESTACIÓN ESTRUCTURAL N° 2 BASE DE DATOS								
Nº	Buz.	Direc Buz	track	Estructura	Azimut	Relleno	Este	Norte
1	64	26	Wp - 7	Fx	296	cerrado	211,228	8,429,132
2	58	50	2	Fx	320	Limonitas	211,228	8,429,132
3	70	36	3	Fx	306	Limonitas	211,228	8,429,132
4	50	30	4	Fx	300	Limonitas	211,228	8,429,132
5	70	24	5	Fx	294	Limonitas	211,228	8,429,132
6	50	92	6	Fx	2	cerrado	211,228	8,429,132
7	40	76	7	Fx	346	Limonitas	211,228	8,429,132
8	62	30	8	Fx	300	Limonitas	211,228	8,429,132
9	64	100	9	Fx	10	Limonitas	211,228	8,429,132
10	52	100	10	Fx	10	Limonitas	211,228	8,429,132
11	64	110	11	Fx	20	Limonitas	211,228	8,429,132
12	30	212	12	Fx	122	Limonitas	211,228	8,429,132
13	64	108	13	Fx	18	Limonitas	211,228	8,429,132
14	70	94	14	Fx	4	Limonitas	211,228	8,429,132
15	80	254	15	Fx	164	Limonitas	211,228	8,429,132
16	76	100	16	Fx	10	Limonitas	211,228	8,429,132
17	80	90	17	Fx	0	Limonitas	211,228	8,429,132
18	72	108	18	Fx	18	Limonitas	211,228	8,429,132
19	24	246	Wp - 8	Ct	156	Limonitas	211,208	8,429,137
20	10	274	2	Ct	184	Limonitas	211,208	8,429,137
21	10	258	3	Ct	168	Limonitas	211,208	8,429,137
22	58	34	4	Fx	304	Limonitas	211,208	8,429,137
23	78	38	5	Fx	308	Limonitas	211,208	8,429,137
24	70	42	6	Fx	312	Limonitas	211,208	8,429,137
25	72	30	7	Fx	300	Limonitas	211,208	8,429,137
26	78	38	8	Fx	308	Limonitas	211,208	8,429,137
27	82	20	9	Fx	290	Limonitas	211,208	8,429,137
28	72	26	10	Fx	296	Limonitas	211,208	8,429,137
29	80	30	11	Fx	300	Limonitas	211,208	8,429,137
30	50	214	12	Fx	124	Limonitas	211,208	8,429,137
31	76	30	13	Fx	300	Limonitas	211,208	8,429,137
32	64	12	14	Fx	282	Limonitas	211,208	8,429,137
33	60	2	15	Fx	272	Limonitas	211,208	8,429,137
34	52	348	16	Fx	258	Limonitas	211,208	8,429,137
35	42	100	17	Fx	10	Limonitas	211,208	8,429,137

Cuadro n° 10.- Datos de la Estación Estructural n°2, ubicado a 200m izquierdo de la EE-1 margen derecha de la qda Chelleca.

Estación Estructural Nº 3 Base de Datos								
Nº	Buz.	Direc Buz	Relleno	track	Estructura	Azimut	Este	Norte
1	88	162	Limonitas	Wp - 9	Fx	72	211,229	8,429,145
2	88	168	Limonitas	2	Fx	78	211,229	8,429,145
3	86	174	Limonitas	3	Fx	84	211,229	8,429,145
4	90	170	Limonitas	4	Fx	80	211,229	8,429,145
5	64	170	Limonitas	5	Fx	80	211,229	8,429,145
6	72	348	Limonitas	6	Fx	258	211,229	8,429,145
7	90	344	Limonitas	7	Fx	254	211,229	8,429,145
8	62	170	Limonitas	8	Fx	80	211,229	8,429,145
9	68	160	Limonitas	9	Fx	70	211,229	8,429,145
10	78	164	Limonitas	10	Fx	74	211,229	8,429,145
11	60	106	Limonitas	11	Fx	16	211,229	8,429,145
12	42	148	Limonitas	12	Fx	58	211,229	8,429,145
13	74	150	Limonitas	13	Fx	60	211,229	8,429,145
14	40	6	Limonitas	14	Fx	276	211,229	8,429,145
15	60	4	Limonitas	15	Fx	274	211,229	8,429,145
16	40	8	Limonitas	16	Fx	278	211,229	8,429,145
17	72	236	Limonitas (Hm)	Wp - 10	Vnl	146	211,267	8,429,200
18	58	224	Limonitas (Hm)	2	Vnl	134	211,267	8,429,200
19	76	246	Limonitas (Hm)	3	Vnl	156	211,267	8,429,200
20	74	170	Limonitas (Hm)	4	Vnl	80	211,267	8,429,200
21	72	198	Limonitas (Hm)	5	Vnl	108	211,267	8,429,200
22	30	258	Limonitas (Hm)	6	Vnl	168	211,267	8,429,200
23	50	234	Limonitas	7	Fx	144	211,267	8,429,200
24	90	248	Limonitas (Hm)	8	Vnl	158	211,267	8,429,200
25	70	196	abierto	9	Fx	106	211,267	8,429,200
26	88	300	Limonitas	Wp - 11	Fx	210	211,283	8,429,237
27	80	120	Limonitas	2	Fx	30	211,283	8,429,237
28	60	106	Limonitas	3	Fx	16	211,283	8,429,237
29	50	332	Limonitas	4	Fx	242	211,283	8,429,237
30	40	24	Limonitas	5	Vnl	294	211,283	8,429,237
31	28	24	Limonitas	6	Vnl	294	211,283	8,429,237
32	80	136	Limonitas	7	Fx	46	211,283	8,429,237
33	84	138	abierto	8	Fx	48	211,283	8,429,237
34	90	106	abierto	9	Fx	16	211,283	8,429,237
35	40	30	Limonitas	10	Bed	300	211,283	8,429,237
36	74	328	abierto	11	Fx	238	211,283	8,429,237
37	58	44	Limonitas	12	Fx	314	211,283	8,429,237
38	70	58	Limonitas	13	Fx	328	211,283	8,429,237
39	38	6	Limonitas	14	Bed	276	211,283	8,429,237
40	80	316	cerrado	15	Fx	226	211,283	8,429,237
41	90	110	cerrado	16	Fx	20	211,283	8,429,237
42	90	130	cerrado	17	Fx	40	211,283	8,429,237
43	46	30	cerrado	18	Bed	300	211,283	8,429,237

**Cuadro
nº11.-** Datos
estructurales
de la Estación
3, ubicado en
las cuarcitas
Huintuyo.
Margen
derecha qda
Chelleca.

Estación Estructural nº 4 Base de datos								
Nº	Buz.	Direc Buz	track	Estructura	Azimut	Relleno	Este	Norte
1	70	140	Wp - 12	Fx	50	Abierta	211,316	8,429,289
2	88	350	2	Fx	260	Abierta	211,316	8,429,289
3	90	358	3	Fx	268	Abierta	211,316	8,429,289
4	86	30	4	Fx	300	Abierta	211,316	8,429,289
5	88	0	5	Fx	270	cerrado	211,316	8,429,289
6	78	20	6	Fx	290	Abierta	211,316	8,429,289
7	70	8	7	Fx	278	Abierta	211,316	8,429,289
8	90	126	8	Fx	36	Limonitas	211,316	8,429,289
9	90	104	Wp - 13	Fx	14	Limonitas	211,310	8,429,323
10	60	110	2	Fx	20	Limonitas	211,310	8,429,323
11	90	90	3	Fx	0	abierta	211,310	8,429,323
12	84	310	4	Fx	220	abierta	211,310	8,429,323
13	74	248	5	Fx	158	Limonitas/ arcillas	211,310	8,429,323
14	86	100	6	Fx	10	abierta	211,310	8,429,323
15	78	72	7	Vnl	342	Limonitas (Hm)	211,310	8,429,323
16	78	138	8	Fx	48	abierta	211,310	8,429,323
17	62	130	9	Fx	40	abierta	211,310	8,429,323
18	84	308	10	Fx	218	abierta	211,310	8,429,323
19	88	236	11	Fx	146	abierta	211,310	8,429,323
20	60	112	12	Fl	22	Con Panizo	211,310	8,429,323
21	90	220	13	Fx	130	cerrado	211,310	8,429,323
22	90	156	14	Fx	66	abierta	211,310	8,429,323
23	70	196	15	Vnl	106	Limonitas (Hm)	211,310	8,429,323
24	20	182	Wp - 14	Ct	92	Limonitas / Abierta	211,311	8,429,336
25	90	222	2	Fx	132	Limonita	211,311	8,429,336
26	80	264	3	Fx	174	cerrado	211,311	8,429,336
27	70	136	4	Fx	46	Limonita	211,311	8,429,336
28	30	128	5	Fx	38	Limonita	211,311	8,429,336
29	50	210	6	Ct	120	Limonita	211,311	8,429,336
30	64	188	7	Fx	98	Abierta	211,311	8,429,336
31	88	258	8	Fx	168	Limonita	211,311	8,429,336
32	38	2	9	Bed	272	cerrado	211,311	8,429,336

Cuadro nº 12.- Datos de la EE-04, de igual forma se obtuvo información de la margen derecha de la qda Chelleca.

Estación Estructural nº 5, Base de datos								
Nº	Buz.	Direc Buz	track	Estructura	Azimut	Relleno	Este	Norte
1	70	38	Wp - 15	Fx	308	cerrado	211,328	8,429,380
2	80	42	2	Fx	312	cerrado	211,328	8,429,380
3	84	42	3	Fx	312	cerrado	211,328	8,429,380
4	80	40	4	Fx	310	cerrado	211,328	8,429,380
5	88	42	5	Fx	312	cerrado	211,328	8,429,380
6	80	38	6	Fx	308	cerrado	211,328	8,429,380
7	86	40	7	Fx	310	cerrado	211,328	8,429,380
8	80	154	8	Fx	64	cerrado	211,328	8,429,380
9	90	148	9	Fx	58	cerrado	211,328	8,429,380
10	84	48	10	Fx	318	cerrado	211,328	8,429,380
11	88	50	11	Fx	320	cerrado	211,328	8,429,380
12	72	38	12	Fx	308	cerrado	211,328	8,429,380
13	90	154	13	Fx	64	cerrado	211,328	8,429,380
14	70	58	14	Fx	328	Limonitas	211,328	8,429,380
15	72	40	15	Fx	310	cerrado	211,328	8,429,380
16	70	42	16	Fx	312	cerrado	211,328	8,429,380
17	72	40	17	Fx	310	Limonitas	211,328	8,429,380
18	72	52	Wp - 16	Fx	322	Limonitas	211,329	8,429,385
19	70	44	2	Fx	314	Limonitas	211,329	8,429,385
20	40	40	3	Fx	310	Limonitas	211,329	8,429,385
21	60	48	4	Fx	318	Limonitas	211,329	8,429,385
22	68	42	5	Fx	312	Limonitas	211,329	8,429,385
23	90	304	6	Fx	214	Limonitas	211,329	8,429,385
24	58	20	7	Fx	290	cerrado	211,329	8,429,385
25	70	28	8	Fx	298	Limonitas	211,329	8,429,385
26	60	36	9	Fx	306	Limonitas	211,329	8,429,385
27	78	330	10	Fx	240	Limonitas	211,329	8,429,385
28	60	128	11	Fx	38	Limonitas	211,329	8,429,385
29	78	138	12	Fx	48	cerrado	211,329	8,429,385
30	90	120	13	Fx	30	Limonitas	211,329	8,429,385
31	78	118	14	Fx	28	Limonitas	211,329	8,429,385
32	50	42	15	Bed	312	cerrado	211,329	8,429,385
33	86	134	16	Fx	44	Limonitas	211,329	8,429,385

Cuadro n°13.- datos de la estación Estructural n°5, en el pórfido, zona de fracturamiento.

Estación Estructural n° 6, Base de Datos								
Nº	Buz.	Direc Buz	track	Estructura	Azimut	Relleno	Este	Norte
1	54	50	Wp - 17	Bed	320	cerrado	211336	8429403
2	90	310	2	Fx	220	cerrado	211336	8429403
3	90	320	3	Fx	230	cerrado	211336	8429403
4	90	110	4	Fx	20	Limonitas	211336	8429403
5	80	144	5	Fx	54	Limonitas	211336	8429403
6	78	132	6	Fx	42	Limonitas	211336	8429403
7	72	144	7	Fx	54	cerrado	211336	8429403
8	72	148	8	Fx	58	Limonitas	211336	8429403
9	70	40	9	Bed	310	cerrado	211336	8429403
10	70	130	10	Fx	40	Limonitas	211336	8429403
11	90	148	11	Fx	58	cerrado	211336	8429403
12	80	140	12	Fx	50	cerrado	211336	8429403
13	44	38	Wp - 18	Bed	308	cerrado	211325	8429420
14	80	120	2	Fx	30	cerrado	211325	8429420
15	72	130	3	Fx	40	Limonitas	211325	8429420
16	88	128	4	Fx	38	abierta	211325	8429420
17	54	182	5	Fx	92	abierta	211325	8429420
18	84	130	6	Fx	40	abierta	211325	8429420
19	80	126	7	Fx	36	abierta	211325	8429420
20	40	54	8	Bed	324	cerrado	211325	8429420
21	90	324	9	Fx	234	abierta	211325	8429420
22	76	100	Wp - 19	Vnl	10	Limonitas (Hm+/J-)	211315	8429430
23	72	150	2	Vnl	60	abierta Limonitas	C/ 211315	8429430
24	46	126	3	Vnl	36	Limonitas (Hm+/J-)	211315	8429430
25	64	286	4	Fx	196	abierta	211315	8429430
26	70	122	5	Vnl	32	Limonitas (Hm+)	211315	8429430
27	90	90	6	Vnl	0	cerrado	211315	8429430
28	88	96	7	Vnl	6	cerrado	211315	8429430
29	84	98	8	Vnl	8	cerrado	211315	8429430
30	86	94	9	Vnl	4	cerrado	211315	8429430
31	80	84	10	Fx	354	cerrado	211315	8429430
32	90	124	11	Fx	34	Abierta	211315	8429430
33	62	306	Wp - 20	Fx	216	cerrado	211318	8429455
34	76	302	2	Fx	212	cerrado	211318	8429455
35	58	298	3	Fx	208	cerrado	211318	8429455
36	80	300	4	Fx	210	Limonita	211318	8429455
37	80	296	5	Fx	206	Abierta	211318	8429455
38	90	296	6	Fx	206	Abierta	211318	8429455
39	90	294	7	Fx	204	Abierta	211318	8429455
40	82	290	8	Fx	200	cerrado	211318	8429455
41	90	108	9	Fx	18	Abierta	211318	8429455
42	84	288	10	Fx	198	Abierta	211318	8429455
43	84	298	Wp - 21	Fx	208	Abierta	211312	8429476
44	90	298	2	Fx	208	Abierta	211312	8429476
45	90	298	3	Fx	208	Limonita	211312	8429476
46	70	290	4	Fx	200	Abierta	211312	8429476
47	90	306	5	Fx	216	Abierta	211312	8429476
48	60	70	6	Vnl	340	Abierta/Limonita (Hm)	211312	8429476
49	60	58	7	Fx	328	Abierta	211312	8429476
50	42	186	8	Fx	96	Limonita	211312	8429476
51	60	256	9	Fx	166	Abierta	211312	8429476
52	86	300	10	Fx	210	Abierta	211312	8429476
53	82	296	11	Fx	206	Abierta	211312	8429476
54	64	120	12	Fx	30	Abierta	211312	8429476
55	80	128	13	Fx	38	Abierta	211312	8429476
56	58	130	14	Fx	40	Abierta	211312	8429476

Cuadro n°14. - Datos de la estación estructural n°6, en zona de venillas, y stockwork.

Estación Estructural n° 7, Base de Datos								
Nº	Buz.	Direc Buz	track	Estructura	Azimut	Relleno	Este	Norte
1	80	290	Wp - 22	Fx	200	limonita	211,312	8,429,494
2	58	296	2	Fx	206	limonita	211,312	8,429,494
3	74	294	3	Fx	204	limonita	211,312	8,429,494
4	80	304	4	Fx	214	limonita	211,312	8,429,494
5	80	300	5	Fx	210	limonita	211,312	8,429,494
6	74	236	6	Fx	146	Abierta	211,312	8,429,494
7	70	298	7	Fx	208	Abierta	211,312	8,429,494
8	84	280	8	Fx	190	limonita	211,312	8,429,494
9	82	274	9	Fx	184	limonita	211,312	8,429,494
10	74	280	10	Fx	190	limonita	211,312	8,429,494
11	84	206	11	Fx	116	limonita	211,312	8,429,494
12	82	306	12	Fx	216	Abierta	211,312	8,429,494
13	80	306	13	Fx	216	Abierta	211,312	8,429,494
14	74	308	14	Fx	218	Abierta	211,312	8,429,494
15	88	308	15	Fx	218	Abierta	211,312	8,429,494
16	90	240	16	Fx	150	Abierta	211,312	8,429,494
17	90	144	17	Fx	54	Abierta	211,312	8,429,494
18	88	284	18	Fx	194	Abierta	211,312	8,429,494
19	84	90	19	Fx	0	Abierta	211,312	8,429,494
20	68	268	20	Fx	178	Abierta	211,312	8,429,494
21	82	274	21	Fx	184	Abierta	211,312	8,429,494

Cuadro n° 15.-
Datos de la
estación
estructural n° 7,
zona de fracturas,
ubicado en la
margen izquierda
del rio Livitaca.

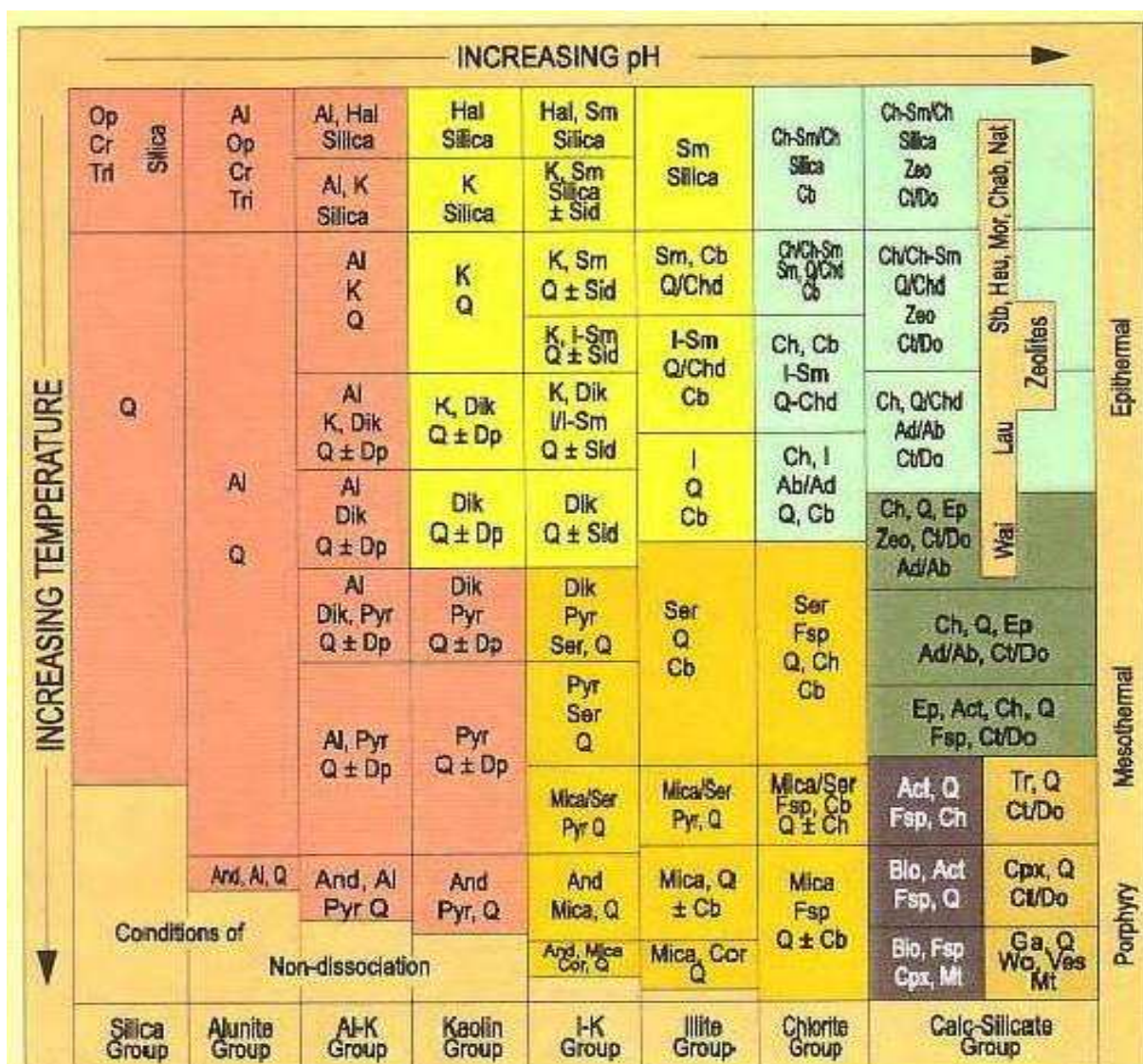
Estación estructural n° 9								
Nº	Buz.	Direc Buz	track	Estructura	Azimut	Relleno	Este	Norte
1	86	88	Wp - 46	Fx	358	Limonita	211,167	8,429,211
2	82	96	2	Fx	6	Limonita	211,167	8,429,211
3	80	98	3	Fx	8	Limonita	211,167	8,429,211
4	78	96	4	Fx	6	Limonita	211,167	8,429,211
5	76	98	5	Fx	8	Limonita	211,167	8,429,211
6	80	98	6	Fx	8	Limonita	211,167	8,429,211
7	70	110	7	Fx	20	Limonita	211,167	8,429,211
8	64	156	8	Fx	66	Limonita	211,167	8,429,211
9	70	146	9	Fx	56	Limonita	211,167	8,429,211
10	84	148	10	Fx	58	Limonita	211,167	8,429,211
11	80	100	Wp - 47	Fx	10	Limonita	211,179	8,429,214
12	60	98	2	Fx	8	Limonita	211,179	8,429,214
13	60	155	3	Fx	65	Limonita	211,179	8,429,214
14	62	100	4	Fx	10	Limonita	211,179	8,429,214
15	80	102	5	Fx	12	Abierta	211,179	8,429,214
16	72	282	6	Fx	192	Limonita	211,179	8,429,214
17	80	282	7	Fx	192	Limonita	211,179	8,429,214
18	78	282	8	Fx	192	Limonita	211,179	8,429,214
19	90	298	9	Fx	208	Limonita	211,179	8,429,214
20	80	282	10	Fx	192	Limonita	211,179	8,429,214

Cuadro n°16.-
datos de la
estación estructural
n° 9, en zona de
venillas, margen
izquierda del río
Livitaca.

Estación Estructural N° 8, Base de Datos								
Nº	Buz.	Direc Buz	track	Estructura	Azimut	Relleno	Este	Norte
1	54	164	Wp - 23	Fx	74	Limonitas	211,473	8,429,219
2	64	280	2	Fx	190	Limonitas	211,473	8,429,219
3	40	278	3	Fx	188	Limonitas	211,473	8,429,219
4	62	270	4	Fx	180	Limonitas	211,473	8,429,219
5	40	268	5	Fx	178	Limonitas	211,473	8,429,219
6	70	176	6	Fx	86	Limonitas	211,473	8,429,219
7	48	276	7	Fx	186	Limonitas	211,473	8,429,219
8	44	262	8	Fx	172	Abierta	211,473	8,429,219
9	40	190	9	FI	100	Abierta	211,473	8,429,219
10	88	170	10	FI	80	Abierta	211,473	8,429,219
11	38	260	11	Fx	170	Abierta	211,473	8,429,219
12	50	262	12	Fx	172	limonita	211,473	8,429,219
13	68	208	13	Fx	118	limonita	211,473	8,429,219
14	40	250	14	Fx	160	limonita	211,473	8,429,219
15	84	182	Wp - 24	Vnl	92	cerrado	211,470	8,429,214
16	90	168	2	Vnl	78	cerrado	211,470	8,429,214
17	58	250	3	Fx	160	limonita	211,470	8,429,214
18	90	324	4	Fx	234	Abierta	211,470	8,429,214
19	68	340	5	Fx	250	Abierta	211,470	8,429,214
20	64	266	6	Fx	176	limonita	211,470	8,429,214
21	70	228	7	Fx	138	limonita	211,470	8,429,214
22	70	242	8	Fx	152	cerrado	211,470	8,429,214
23	70	242	9	Fx	152	cerrado	211,470	8,429,214
24	68	244	10	Fx	154	Abierta	211,470	8,429,214
25	50	290	11	Fx	200	Abierta	211,470	8,429,214
26	56	324	12	Fx	234	limonita	211,470	8,429,214
27	62	244	13	Fx	154	limonita	211,470	8,429,214
28	38	246	14	Fx	156	limonita	211,470	8,429,214
29	60	248	15	Fx	158	limonita	211,470	8,429,214
30	60	264	16	Fx	174	limonita	211,470	8,429,214
31	60	210	Wp - 25	Fx	120	limonita	211,469	8,429,209
32	60	272	2	Fx	182	limonita	211,469	8,429,209
33	58	228	3	Fx	138	limonita	211,469	8,429,209
34	36	258	4	Fx	168	limonita	211,469	8,429,209
35	60	214	5	Fx	124	limonita	211,469	8,429,209
36	30	198	6	Fx	108	cerrado	211,469	8,429,209
37	40	258	7	Fx	168	limonita	211,469	8,429,209
38	42	158	8	Fx	68	abierto	211,469	8,429,209
39	40	242	9	Fx	152	abierto	211,469	8,429,209
40	30	258	10	Fx	168	abierto	211,469	8,429,209
41	76	346	11	Fx	256	abierto	211,469	8,429,209
42	62	322	12	Fx	232	abierto	211,469	8,429,209
43	72	310	13	Fx	220	abierto	211,469	8,429,209
44	70	318	14	Fx	228	abierto	211,469	8,429,209
45	78	320	15	Fx	230	abierto	211,469	8,429,209
46	46	318	16	Fx	228	abierto	211,469	8,429,209
47	90	250	17	Fx	160	abierto	211,469	8,429,209
48	40	276	Wp - 28	Fx	186	Limonita	211,453	8,429,183
49	30	246	2	Fx	156	Limonita	211,453	8,429,183
50	30	246	3	Fx	156	Limonita	211,453	8,429,183
51	70	314	4	FL	224	cerrado	211,453	8,429,183
52	20	104	5	Fx	14	cerrado	211,453	8,429,183
53	30	76	6	Fx	346	Limonita	211,453	8,429,183
54	70	340	7	Fx	250	Limonita	211,453	8,429,183
55	50	282	8	Fx	192	Limonita	211,453	8,429,183
56	62	330	9	Fx	240	Limonita	211,453	8,429,183
57	40	326	10	Fx	236	Limonita	211,453	8,429,183
58	30	228	11	Fx	138	Limonita	211,453	8,429,183
59	24	200	12	Fx	110	Limonita	211,453	8,429,183
60	26	276	13	Fx	186	Limonita	211,453	8,429,183

Cuadro n° 17.- datos de la estación estructural n° 8 ubicado en la margen izquierda del río Livitaca, en zona de xidos.

Cuadro n° 18.- se muestra minerales de alteración que corresponde a diferentes tipos de yacimiento. Esta es una guía para todo geólogo de exploraciones. Es una Tabla de alteración mineral por Corbett & Leach.1997



Mineral abbreviations:

Ab-albita, Act-actinolita, Ad-adularia, Al-alunita, And-andalucita, Bio-biotita, Cb-carbonato(Ca, Mg, Mn, Fe), Ch-clorita, Chab-chabazita, Chl-calcetonia, Ch-Sm-clorita-smectita, Cor-corundum, Cpx-clinopiroxeno, Cr-cristobalita, Ct-calcita, Dol-dolomita, Dik-dickita, Dp-diasporo, Ep-epidota, Fds-feldespatos, Ga-granate, Hal-halloysita, Heu-heulandita, I-illita, I-Sm-illita-smectita, K-caolinita, Lau-laumontita, Mt-magnetita, Mor-mordenita, Nat-natrolita, Op-opalo-silica, Pyr-pirofilita, Q-cuarzo, Ser-sericita, Sid-siderita, Sm-smectita, Stb-stilbita, Tr-tremolita, Tri-tridimita, Ves-vesuvianita, Wai-wairakita, Wo-wollastonita, Zeo-zeolita.

Advanced argillic	Outer sub propylitic	Filica
Argillic	Propylitic	Potassic
		Skarn

Cuadro n° 19.- se presenta los formatos de logueo utilizados para la interpretación geológica del depósito:

- a) logueo litológico y estructural,
- b) logueo de mineralización
- c) logueo de alteración
- d) logueo geotécnico.

PROJECT NAME										LITHOLOGY AND STRUCTURE LOGGING																			
Collar elev:					Date start:					N/LATITUDE:					Az:					Hole N°:									
Machine:					Date end:					E/LONGITUDE:					Dip:					Logged by:									
LITHOLOGY %															STRUCTURE														
From	To	Graphic	Lithology	COLOR	Texture	ort	plag	qtz	hnb	Bio	others	Comments			From	To	Graphic	type	Style	Angle CA	Others	comments							

PROJECT NAME:										MINERALOGY LOGGING														
Collar elev:					Date start:					N / LATITUDE:					Az:					Hole N°:				
Machine:					Date end:					E / LONGITUDE:					Dip:					Logged by:				
From	To	Graphic	Sample n°	Grade %												Results								
				CHC	MAL	AZU	COV	CC	CPY	BOR	MOL	PY	NEO	BRO	OLI	MT	HEM	Au ppb	Cu ppm	Mo ppm	comments			

PROJECT NAME:										ALTERATION LOGGING																		
Collar Elev:					Date start:					N / LATITUDE:					Az:					Hole N°:								
Machine:					Date end:					E / LONGITUDE:					Dip:					Logged by:								
From	To	Graph	ALT MINERAL (intensity)										VEIN TYPE intensity										ALTERATION		comments			
			OZ	BI	KF	SER	CL	EP	CY	TOU	OX	CA-Na	A	B	D	QTZ	Kspar	CA	Anh	Bi	n°	% VN	Style	TYPE 1		INT	TYPE 2	INT

GEOTECHNICAL LOG														
Geol Resp: _____					date: _____					Drill hole: _____				
From	to	rock type	core size	structure	RQD	infill	roughness	hardness	core type	zonation	data	logger	comments	

Cuadro n°20.- clave para identificación de minerales con sus respectivas leyes.

MINERALES RECONOCIDOS			
Code	% min	Fórmula química	descripcion
Cris	33.86 Cu	$\text{SiO}_3\text{Cu}+\text{nH}_2\text{O}$	crisocola
Cpy	34.5 Cu	CuFeS_2	calcopirita
bro	56 Cu	$\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$	brocantita
Bor	63 Cu	Cu_5FeS_4	bornita
Mt	72 Cu	$\text{Fe}_3+2\text{Fe}_2+\text{O}_4$	magnetita
Gal	86.6 Pb	PbS	galena
Sph	64.06 Zn	$(\text{Zn},\text{Fe})\text{S}$	esfalerita
CC	79.85 Cu	Cu_2S	calcosita
Neo	27.6 Cu	$\text{CuMnFeSiO}_2+\text{nHO}$	neotocita
Mal	57.48 Cu	$\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$	malaquita
Azu	55.31 Cu	$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$	azurita
chc	25.45 Cu	$\text{CuSO}_4 \cdot 5(\text{H}_2\text{O})$	calcantita
Mo	59.94 Mo	MoS_2	molibdenita
FeMo	62 Mo	$\text{FeMoS}_2+\text{H}_2\text{O}$	ferrimolibdeno

Cuadro n° 21.- diferentes claves y protocolo de logueo utilizados para el logueo durante la perforación: se observa zonación en los pórfidos, tipos de alteración y estilos de mineralización, válido para el pórfido Cu – Mo Sayta.

ZONACIÓN EN PÓRFIDOS		
Code	Descripción	Minerales asociados
OX	Oxidos	hem, goe, neo, cris, cup. mal, azu, chalc, Femol.
TR	Transición	mezcla minerales de la zona oxidos y la zona supérgena
SG	Supergena	cc, cov, py, mol
MX	Mixto	minerales de zona supergena con minerales zona hipógena
HY	Hipógena	cpy, Mo, bor, py, sph.
TIPOS DE ALTERACIÓN		
Code	Descripción	Minerales Asociados
SIL	Silicificación	cuarzo diseminado y venillas
PR	Propilítica	epidota, clorita, vn de calcita
CHL	Cloritización	clorita >60%
AR	Argilización	caolín, illita
IA	Arg. Interm.	sericita, dikita, caolín, chorita
PH	Fílica	sericita, cuarzo
PT	Potásica	biotita sec, ortosa diss y vn.
Code	Description	Descripción
VN	veinlets	venillas
FLO	floading	inundaciones
STW	stockwork	stockwork
FLP	flash point	salpicaduras
HL	hair line	hilos de cabello
CK	cockscomb	cresta de gallo
DISS	disseminated	diseminado
PER	pervasive	invasión dominante

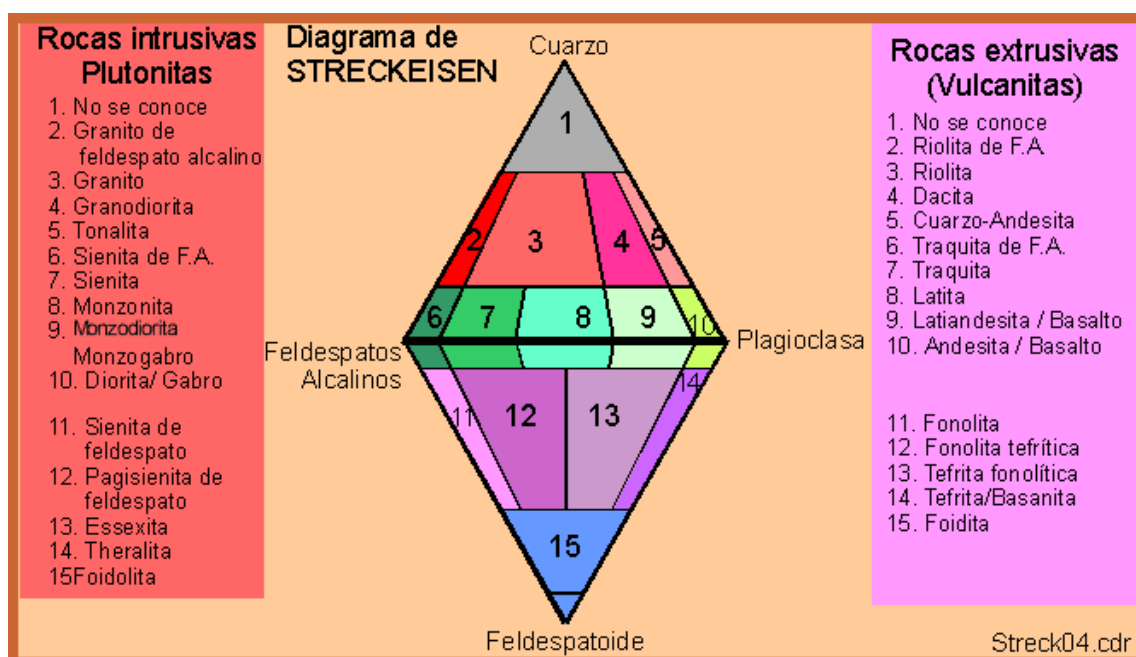


Figura n° 23.- Diagrama de Streckeisen o QAPF. Los números de los sectores representan un sector de una composición determinada. Cada sector pertenece a un nombre intrusiva o extrusivas. Tomar en cuenta solamente el campo. Este diagrama permite identificar la roca mediante el uso de los componentes mineralógicos de la roca.

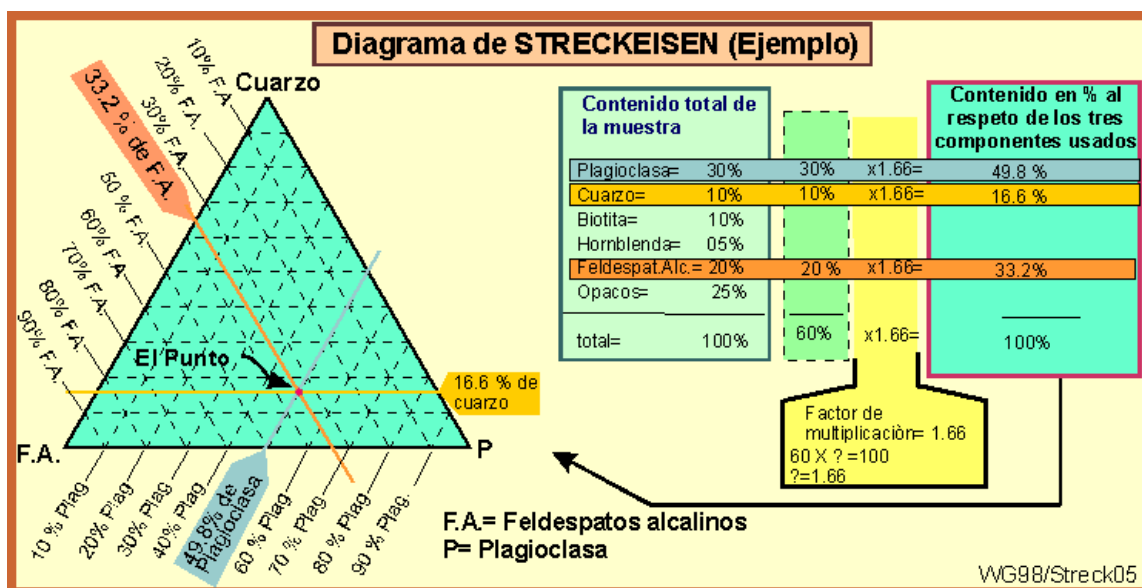


Figura n° 24.- diagrama de clasificación de rocas ígneas propuesto por Streckeisen 1997, utilizado en el proyecto. Ejemplo de cómo se califica una roca mediante el uso del microscopio.

CAPITULO XIV

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Benavides-Cáceres, V. 1999. La evolución orogénica de los Andes Peruanos: El ciclo de los Andes centrales SEG v.7, p. 61–107.
- Bonhomme, MG, and Carlier, G. 1990. Relaciones entre magmatismo y mineralizaciones en el Batolito Andahuaylas-Yauri (Sud Pérou): 2º Simposio Internacional sobre los Andes Geodynamics, Grenoble, France, p. Geodinámica, Grenoble, Francia p. 329–331.
- Carlier, G. Lorand, JP. Bonhomme, M. and Carlotto, V. 1996. Una nueva apreciación del Interior Arco Cenozoico magmatismo en el Sur este del Perú: consecuencias para la evolución de los Andes centrales durante los últimos 50 Ma: Tercer Simposio Internacional sobre Geodinámica Andina, Saint-Malo, Francia, extendido volumen de resúmenes, p. 551–554.
- Carlotto, V. Carlier, et al. 1999. Sedimentary and structural evolution, Evidence for a Late Eocene lithospheric delamination event in the - Oligoceno: IV Symposium Internacional sobre Geodinámica Andina, Goettingen, Alemania, Extended Abstract Volume, p.141–146.
- Castro, E. 2008. 1er reporte geológico del Pórfido Sayta, Minera del Suroeste SAC, p 6.
- Corbert, G.J. and Leach, T.M. 1998. Southwest Pacific rim gold-copper systems: Structure, Alteration and mineralization: Society of Economic Geologist special publication 6, 237 p.
- Garro Ayala, M.S. 2009, Metodología de la Investigación científica.
- Gustafson, L.B. and Hunt, J.P. 1975. The porphyry copper deposits at El Salvador, Chile. Economic geology v.70, p. 857-912.
- Hedenquist, J.W. & Richards, J.P 1998, their influence of geochemical techniques on the development of genetic models of porphyry copper deposits; reviews in Economic geology v.10, p 235-256.

- Hedenquist, J. 2011. Sistemas de Pórfido Cu-Au. Exploración en ambientes de pórfido y epitermales. IIMP, Pro-explo 2011. Lima- Peru. 183p. (separatas).
- Perelló J. Carlotto V. et al. Porphyry-Style Alteration and Mineralization of the Middle Eocene to Early Oligocene Andahuaylas-Yauri Belt, Cuzco Region, Peru SEG Dec 2003; v. 98; p. 1575-1605.
- Marocco R., (1975) Geología de los cuadrángulos de Andahuaylas, Abancay y Cotabambas. INGEMMET, Bol. 27, 51 p., Lima. Marocco, R. (1978) Un segment est-ouest de la chaîne des Andes peruvienne: La deflexión d Abancay. Doc. ORSTOM, 94: 195 pp. Lipa, V. (2005).
- Maksaev Víctor 2003, Jeffrey Hedenquist, Jeremy, Richards (1998), Evolución del Conocimiento de los Procesos involucrados en la Génesis de los pórfidos cupríferos. Vol 10 SEG.
- Mendivil, S. Dávila, D. 1994. Geología de los cuadrángulos de Cuzco, Livitaca, INGEMMET, Bol. 52, 33 p. Lima.
- Noble, DC. McKee et al. 1984. Age and regional tectonic and metallogenic implications of igneous activity and mineralization in the Andahuaylas-Yauri belt of southern Peru: SEG, v. 79, p. 172–176.
- ✓ Noble, DC. and McKee, EH. 1999. The Miocene metallogenic belt of central and northern Perú. in Skinner, BJ, ed. Geology and Ore Deposits of the Central Andes: SEG v. 7, p.155–193.
- ✓ Oyarzun, Jorge. 2001. Andean Metallogenesis: A Synoptical Review and Interpretation.
- ✓ Perelló, J. Carlotto, V. Zárate, et al. 2003. Porphyry-Style Alteration and Mineralization of the Middle Eocene to Early Oligocene Andahuaylas-Yauri Belt, Cuzco Region, Peru: SEG, v.98, p. 1575–1605.
- Perelló, J., 2003, Porphyry copper metallogeny of the middle Eocene-early Oligocene arc of western South America: relationships with volcanism and arc segmentation [abs.]: X Congreso Geológico Chileno, Concepción, Chile, Oct 6–10, 2003.

- Petersen, U. 1999, Magmatic and metallogenic evolution of the Central Andes: SEG Special Publications, v. 7, p. 109–153.
- Rinehart, and Winston, p. 166–235, 2001 The Andahuaylas-Yauri belt of southeastern Peru and its extension to the Chilean porphyry copper province.
- Streckeisen, A. 1978. IUGS Sub commission on the Systematics of Igneous Rocks. Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatites and Melilitic Rocks. pp, 134, 1-14.
- Sillitoe, R. 1970. South American porphyry copper deposits and the New Global Tectonics (abs): Congreso Latino Americano de Geología, Lima- Peru, resúmenes p.254-256.
- Sillitoe, R. 1995. Exploration and discovery of base and precious metal deposits in the circum-Pacific region during the last 25 years. Resource Geology Special Issue No. 19. (Society of Resource Geology; Tokyo.)
- Sillitoe, R. 2000. Gold-rich porphyry deposits: Descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery: Reviews in SEG, v.13, p. 315–345.
- Sillitoe, R. and McKee, EH. 1996. Age of supergene oxidation and enrichment in the Chilean porphyry copper province: SEG, v. 91, p. 164–179.
- Thompson, J.F. 1993. Application of deposit models to exploration; Geological Association of Canada Special Paper 40, P. 51-57.
- Weise, Stefanie. 1997. PD Dr. Th. Seifert (Depto. de Geología Económica y Petrología, TU, Germany), Alemania. El cinturón de Andahuaylas-Yauri del sureste de Perú y su extensión a los pórfidos de cobre de Chile.